Unidad Nº 1

Ed 1982

El presente libro trata
de un modo preciso y exhaustivo
de los temas básicos de la cartografía,
tanto en el aspecto técnico de su realización
como el de la interpretación y uso
de los mapas en sus más diversas aplicaciones.
Después de una breve iniciación histórica,
pasa a una exposición temática que abarca
desde las proyecciones fundamentales,
las triangulaciones, las medidas
de distancias, etc., hasta los últimos avances
en el campo de la fotografía aérea.
En el análisis de los métodos cartográficos
y en todos sus aspectos se refiere también
a los símbolos de representación
y a las técnicas de reproducción.
Por esta enumeración se puede juzgar
del carácter exhaustivo de la obra,
y de su utilidad para geógrafos,
y para todos aquellos que deben conocer
las características de esta especialidad.

Fernand Joly La cartografía ARIEL Geografía

Fernand Joly
La cartografía

Los temas básicos
de la cartografía,
tanto en el aspecto técnico
de su realización
como en el de la interpretación
y uso de los mapas
en sus diversas aplicaciones.

160 copias

ORINGINAL Cehumai



(Texto completo)



Otros títulos de la misma colección:

Guy Lasserre
América Media

Jean Le Coz
Las reformas agrarias

Pierre Gentelle
La China

Pedro Cunill
La América Andina

Max Derruau
El Japón

A. Blanc - H. Chambre
La URSS

Jacques Dupuis
Asia meridional

Jacques Soppelsa
Los Estados Unidos

La Cartografía

Lic. Maber Liminari

FERNAND JOLY
Profesor de la Universidad de Paris VII

LA CARTOGRAFÍA

Ariel

Título original:
LA CARTOGRAPHIE

Traducción de
JULIO MORENCOS TÉVAR
Dr. Ingeniero Geógrafo

Edición al cuidado de
RODOLFO NÚÑEZ DE LAS CUEVAS
Dr. Ingeniero Geógrafo. Catedrático de Representación Cartográfica E.U.I.T.T.
Universidad Politécnica de Madrid

1.ª edición: abril de 1979
2.ª edición: junio de 1982

Depósito legal: 23.384 - 1982
ISBN: 84 344 3434 2

Impreso en España

1982. - I. G. Seix y Barral Hnos., S. A.
Carretera de Cornellà, 134, Esplugues de Llobregat (Barcelona)

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

PLANCHAS FUERA DE TEXTO
al final del volumen

INTRODUCCIÓN

I. DEFINICIÓN DE LA CARTOGRAFÍA

Un *mapa* es *una representación geométrica plana, simplificada y convencional, de toda o parte de la superficie terrestre, con una relación de similitud proporcionada, a la que se llama escala.*

A) *Una representación geométrica plana*

El mapa es la representación sobre un plano (el de la hoja de papel sobre la que está dibujado o impreso) de la superficie terrestre, que es curva. El paso de esta superficie curva a la plana del mapa no se logra sin dificultades.

Una de ellas es la definición exacta de la forma de la Tierra. Éste es el objeto de la *geodesia*, que se encuentra por ello en la base de toda cartografía. Para determinar con precisión la forma y las dimensiones de la Tierra, se dispone a un mismo tiempo de métodos directos, que son los propios de la geodesia, y de métodos indirectos, que dependen de la geofísica. La Tierra es un sólido que no se parece a ningún otro y que, por esta razón, se denomina *el geoide*. Este geoide se asimila, en la práctica, a un elipsoide de revolución,[1] cuyas características se admiten universalmente. Los valores adoptados por la *Asociación Internacional de Geodesia* en 1967 para este *elipsoide de referencia* son los siguientes:

Semieje mayor: $R = 6.378.160$ m
Semieje menor: $r = 6.356.770$ m

$$\text{Aplanamiento:} \frac{R - r}{R} = \frac{1}{298{,}25}$$

Otra dificultad se presenta al trasladar a un plano la superficie del elipsoide, lo que no puede hacerse sin partirla o deformarla. Esta operación se resuelve geométricamente mediante una proyección. El problema se reduce a imaginar un sistema de proyección que reduzca a un mínimo las deformaciones y permita conservar los elementos que más importan al usuario del mapa: por ejemplo, las relaciones entre las áreas, o entre las formas, o entre las distancias. Dentro de estos límites, el mapa debe ser lo suficientemente preciso para que se puedan efectuar sobre él un cierto número de medidas (áreas, direcciones, distancias), cuyo valor dependerá de las propiedades geométricas características del sistema de proyección empleado.

B) *Una representación simplificada y convencional*

El mapa proporciona una imagen incompleta del terreno; no es nunca una reproducción tan fiel como pueda serlo una fotografía aérea. Incluso el más detallado de los planos está siempre simplificado. Su composición exige una elección entre los objetos que ocupan realmente la superficie terrestre: elección en lo que se refiere a su número, puesto que algunos deberán ser eliminados, y elección en cuanto a su importancia, puesto que se conservarán sólo aquellos que respondan a ciertos criterios determinados.

Por tanto, el mapa es una construcción subjetiva sometida a normas preestablecidas, tanto de selección como de representación. En él, los objetos no están representados tal y como son, sino mediante símbolos o signos más o menos descriptivos y susceptibles de variaciones cuantitativas. Naturalmente, el número y forma de estos símbolos dependen del espacio de que dispone el dibujante: cuanto mayor sea la reducción de la imagen terrestre, más imperativa será la selección de los objetos a representar, y más difícil el trazado de sus contornos. Resolver este compromiso es el objetivo de la *generalización*, que consiste en una esquematización razonada de los detalles significativos del terreno, pero a costa de acrecentar incluso el carácter convencional y "caricaturesco" de la representación cartográfica.

C) *Una representación de toda o parte de la superficie terrestre*

Pueden construirse proyecciones que permiten representar toda la Tierra. La transcripción cartográfica de la superficie terrestre es, pues teóricamente ilimitada. Sin embargo, los globos y mapas de toda la Tierra —mapamundis o planisferios— sólo tienen en la práctica un papel restringido. Para ser manejables, deben ser de dimensiones reducidas, con lo que pierden en precisión lo que ganan en extensión. También es frecuente la publicación de los mapas del mundo en hojas encuadernables, que pueden estar reunidas en un atlas.

En general, para usos corrientes, se recurre a mapas que tratan sólo una parte reducida de la superficie terrestre: planos de municipios o de ciudades, mapas de un territorio regional o nacional, o bien mapas de un continente, tratados generalmente en varias hojas. Al cartógrafo se le ofrecen todas las posibilidades para obtener, de una parte de la Tierra o de toda ella, la imagen más apropiada, en forma y dimensiones, a las necesidades definidas por el uso que se hará de su composición.

D) *Una relación de similitud, llamada escala*

Estas consideraciones subrayan la importancia primordial de la relación de semejanza que se establezca entre las dimensiones reales de la Tierra y las de su imagen sobre el mapa. Esta relación se denomina *escala*. La escala de un mapa es la razón constante que existe entre las distancias lineales medidas sobre él y las distancias lineales correspondientes medidas sobre el terreno.

La escala se expresa normalmente mediante una fracción en la que el numerador es la unidad de medida sobre el mapa (el centímetro o el milímetro) y el denominador el número de estas mismas unidades comprendidas en la longitud correspondiente sobre el terreno. Por ejemplo, una escala de $\frac{1}{50.000}$ significa que 1 mm sobre el dibujo representa 50.000 mm, es decir 50 m sobre el terreno; o bien que 1 cm representa 50.000 cm, es decir 500 m. Corrientemente se es-

cribe 1:50.000 (o 1/50.000), y se dice que la escala es de "uno cincuenta mil", o también que el mapa está "a cincuenta mil". Ésta es la *escala numérica* del mapa. Con este sistema de expresión, resulta que la escala es tanto más pequeña cuanto mayor es el denominador; por tanto, la escala 1:10.000 es mayor que la 1:50.000, y ésta mayor que la 1:100.000, etc.

En la práctica, para evitar que la relación indicada en el mapa resulte falseada por las alteraciones del papel, o por las ampliaciones o reducciones a que pueda someterse la minuta original, suele representarse la escala mediante una figura llamada *escala gráfica* (fig. 1), que consiste en una recta dividida en *n* partes iguales, correspondientes a la unidad adoptada sobre el terreno; a la izquierda del origen se dibuja un "talón", subdividido en décimas partes de la unidad. Para efectuar la medida, se traslada a la escala gráfica, mediante un compás, un doble decímetro o una hoja de papel, la distancia directamente obtenida sobre el plano. Basta entonces con hacer coincidir el

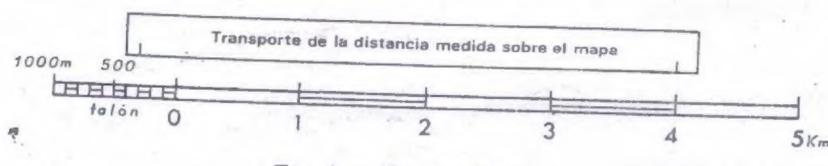


FIG. 1. — *Escala gráfica*

extremo derecho de la medida con una división entera, y leer el valor buscado en su extremo izquierdo, contando sobre la escala el número de unidades, y sobre el talón el número de decimales restantes.

E) *La cartografía*

La cartografía tiene por objeto la concepción, preparación, redacción y realización de los mapas. Comprende "*el conjunto de estudios y operaciones científicas, artísticas y técnicas que intervienen, a partir de los resultados de las observaciones directas o de la explotación de una documentación, en el establecimiento de mapas, planos y otras formas de expresión, así como en su utilización*".[2]

Esta definición, que quizá resulte un poco extensa, tiene al menos la ventaja de ser precisa. No obstante, se observará que limita la cartografía a las operaciones que se realizan a partir de la observación o de la documentación, lo que significa que excluye de ella a las diversas técnicas de recogida, compilación y tratamiento de la información. De hecho, es imposible que un cartógrafo ignore de qué modo pueden reunirse los datos a los que está encargado de dar forma; asimismo, debe conocer los procedimientos de reproducción e impresión que se emplean en la publicación final de los mapas, para utilizarlos del mejor modo posible. Hay que admitir, por tanto, que la cartografía incluye todas las operaciones necesarias, desde el levantamiento sobre el terreno o la recogida de informes escritos (cuando se efectúa con el fin de traducirlos sobre un mapa), hasta la impresión definitiva y la difusión del documento cartográfico.

Desde este punto de vista, la cartografía es a la vez una ciencia, un arte y una técnica.[3] En efecto, exige del cartógrafo un conocimiento profundo de los métodos de estudio del objeto a cartografiar, aptitud para concebir una expresión gráfica que sea a la vez precisa, clara y armoniosa, y finalmente el uso, a veces complejo, de los procedimientos modernos de reproducción de mapas. Naturalmente, es inevitable —y por otra parte conveniente— que estos aspectos particulares del trabajo cartográfico tengan sus propios especialistas, y no menos deseable que estos especialistas posean un cierto conocimiento de todo el conjunto de problemas planteados por la cartografía.

II. BREVE HISTORIA DE LA CARTOGRAFÍA

No es cuestión de volver a describir aquí la historia de la cartografía, que es rica y compleja;[4] se trata simplemente de exponer las motivaciones sucesivas a que han obedecido los cartógrafos, y cómo la cartografía se ha ido poco a poco formando, afirmando y diversificando, hasta llegar a abarcar las múltiples facetas que hoy nos ofrece.

1. Período greco-romano. Extensión de los conocimientos geográficos. Periplos e itinerarios. Medida de la Tierra. Mapas del mundo conocido

A) *Orígenes lejanos de la cartografía*

En todos los tiempos, los hombres han querido conservar memoria de los lugares y direcciones necesarios para sus actividades. Aún hoy, los pueblos menos evolucionados saben trazar sobre la arena, placas de arcilla, pedazos de madera o de tela, itinerarios provistos de la descripción de pasos o de obstáculos, útiles u hostiles a sus desplazamientos. A la vez que por nomenclaturas conocidas por raros textos mesopotámicos o bíblicos, acompañadas de indicaciones vagas y a veces legendarias, se sabe que los asirios y los egipcios disponían de tablillas grabadas, de barro cocido o de metal, y de croquis sobre papiro que representaban contornos o itinerarios. Es seguro que los fenicios tenían cartas náuticas, mantenidas más o menos en secreto, y que las operaciones catastrales y de regadío egipcias dieron lugar a importantes trabajos de agrimensura.

Pero fueron los sabios griegos quienes verdaderamente establecieron los primeros elementos de la geografía matemática y de la cartografía. Especialmente, desembarazaron la descripción de la Tierra de la mayor parte de las fábulas, religiosas o míticas, que la desfiguraban. Su geografía, apoyada en bases astronómicas y matemáticas cada vez más seguras, tuvo en cuenta las observaciones concretas aportadas por todos los viajeros, marítimos o terrestres: navegantes, exploradores, comerciantes y militares.

Naturalmente, estos pueblos de marinos, viajeros infatigables de todo el Mediterráneo, conocían mejor las costas y las islas que las tierras del interior. Sus capitanes llevaban libros de a bordo, a veces con mapas, que debían permitirles encontrar su ruta, pero que a menudo estaban más o menos novelados, para engañar a sus competidores. Los textos nos han transmitido algunas de estas guías o *periplos*. Homero, en el siglo IX antes de nuestra Era, pudo inspirarse en ellos para escribir *La odisea*. En el siglo VII, el faraón Necao envió a

los fenicios a una expedición que dio la vuelta a África. En el siglo VI, el periplo llamado "*de Escylax*" describe con precisión las costas del Mediterráneo y del Ponto Euxino; el de Piteas de Massalia, en busca de estaño y ámbar, informa sobre las costas de las islas Británicas y del mar del Norte, y menciona la lejana Tule (¿Islandia? ¿Feroe?). Pero el del cartaginés Hannón, en el siglo V, embrolla un tanto la ruta hacia el oro del Sudán. En tierra, la más preciada documentación procede de viajeros como Herodoto (siglo V) y de expediciones militares como la de Alejandro (siglo IV).

B) *La cartografía griega*

Los sabios filósofos o matemáticos, trabajando sobre estos datos, emprendieron una profunda reflexión sobre el mundo, que dio lugar a múltiples tratados. En el siglo VII-VI, Tales de Mileto habló ya de la esfericidad de la Tierra. Sin embargo, aún persistió durante mucho tiempo la idea de una Tierra plana, en forma de disco, rodeada por el "río" Océano. Fue necesaria toda la autoridad de Sócrates, en el siglo V, de Platón y, sobre todo, de Aristóteles en el IV, para que se admitiese que la Tierra es una esfera, considerada por otra parte inmóvil en el centro del Universo. A partir de entonces, se intentó determinar sus dimensiones. En el siglo III, Eratóstenes (275-194), bibliotecario de Alejandría, dio la primera medida científica de la circunferencia terrestre; la compensación de sus errores le condujo a una precisión sorprendente: 250.000 estadios, es decir, 39.500 km, para un valor real de 40.000 km. Desgraciadamente, sus sucesores, especialmente Posidonio de Rodas (135-50), redujeron esta dimensión a 28.400 km al rehacer sus cálculos, lo que daría lugar más tarde a curiosas consecuencias.

Paralelamente, se intentaron transcribir sobre mapas los datos recogidos por los viajeros. Se trataba sobre todo de localizaciones obtenidas por orientaciones y distancias estimadas; más raramente, de posiciones calculadas astronómicamente. En el siglo VI, Anaximandro y Hecateo, de la escuela de Mileto, idearon situar estos lugares conocidos en un rectángulo cuyos lados, divididos en estadios,

constituían un sistema de coordenadas. En el siglo IV, Dicearco (347-285) construyó un mapa referido a dos ejes, uno de los cuales, el "diafragma", se extendía de Oeste a Este por las Columnas de Hércules y Rodas (aproximadamente 36° de latitud Norte), y el otro, la "perpendicular", pasaba también por Rodas. Eratóstenes perfeccionó el sistema, añadiendo a los dos ejes de Dicearco varios meridianos y paralelos, y formando así una malla rectangular que pasaba por los enclaves conocidos. Los lugares se situaban entonces por referencia a estos ejes, según su distancia o su latitud (fig. 2).

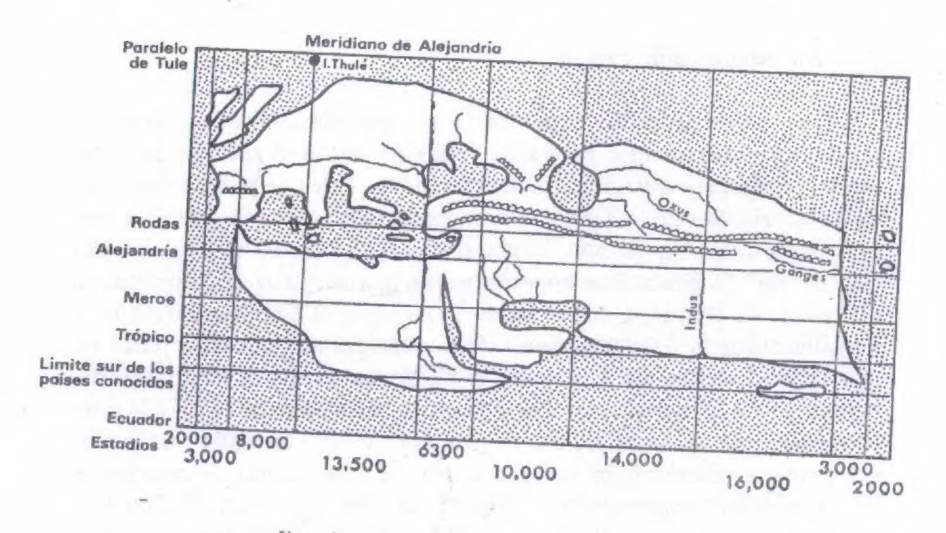


FIG. 2 *Cuadrícula de Eratóstenes*

Pero fue Hiparco (190-125), astrónomo de la escuela de Rodas, quien verdaderamente ideó las primeras proyecciones, que permitían pasar de la superficie curva de la Tierra a la plana del mapa. Primeramente, propuso dividir la circunferencia en 360°, y recubrir después el Globo con una red de meridianos y paralelos equidistantes. Su primera proyección consistió en desarrollar en su verdadera magnitud el paralelo medio (grado 36), construir una perpendicular sobre cada grado de longitud y dividir estas perpendiculares en grados de

latitud. Obtuvo así una malla rectangular, en la que los paralelos eran demasiado largos en las latitudes altas, y demasiado cortos en las bajas. Esta proyección, llamada "carta plana paralelogramática" (fig. 8), es la antecesora lejana de la de Mercator. Hiparco imaginó aún otro sistema en el que los meridianos eran rectas concurrentes, cortando a paralelos rectilíneos de longitud decreciente según su latitud. Propuso también para los mapas celestes las proyecciones hoy llamadas "ortográfica" y "estereográfica". Hacia la misma época, al afirmarse la preponderancia romana, iba a dar un nuevo giro a la cartografía.

C) *La cartografía romana*

Los romanos, cuya actividad era más terrestre que marítima, se interesaron por la representación de los caminos y de los parajes terrestres, antes que por la de las costas. Su cartografía, esencialmente utilitaria, fue sobre todo militar y catastral. En el año 44 a.J.C., ingenieros griegos, siguiendo órdenes de César y bajo la dirección de Agripa, emprendieron un inventario general del Imperio, que dio como resultado los *Comentarios* y un mapa de conjunto, que fue pintado, según se dice, sobre un pórtico de Roma, pero que no ha llegado hasta nosotros. Los emperadores, para uso de sus ejércitos y de sus administradores, hicieron dibujar itinerarios, mapas de caminos y planos, casi todos desaparecidos. El más célebre de éstos es el *Itinerario de Antonino* (siglo III de nuestra Era), que consistía en una guía escrita, especie de lista de las ciudades situadas a lo largo de las grandes vías, con expresión de sus distancias, pero que debía ir acompañada de mapas. La *Tabla de Peutinger*, copia medieval de uno de estos itinerarios, pintada sobre doce hojas de pergamino, nos da una idea de lo que podían ser: mapas que mostraban la red esquematizada de caminos y las distancias, con las ciudades representadas mediante símbolos.

Sin embargo, la geografía descriptiva y la cartografía mantenían la tradición griega, obra de sabios griegos en su mayor parte. Estrabón (58 a.J.C. - 25 d.J.C.) fue el autor de una famosa *Geografía*, des-

graciadamente sin base matemática ni figurativa. Pero el más importante y original de los cartógrafos de este período fue un griego de Alejandría, Claudio Ptolomeo (90-168).

Ptolomeo, siguiendo a Hiparco, consideraba la Tierra esférica, pero inmóvil; el éxito de su libro, transmitido por los árabes, impuso estas ideas hasta los tiempos de Copérnico. En el campo de la geografía, prosiguió y completó la obra de Marín de Tiro (finales del siglo I), quien había recopilado la mayoría de las guías y periplos conocidos en su tiempo. El mérito de Ptolomeo consistió, sobre todo, en poner a punto el conjunto de estos datos y transcribirlos a un mapa, que ha llegado hasta nosotros a través de copias medievales, árabes o bizantinas, más o menos retocadas. Parece ser que este mapa estaba acompañado de otros regionales, cuyo conjunto constituiría, de ser así, el primer atlas. Ptolomeo perfeccionó la proyección de Hiparco de meridianos concurrentes, representando los paralelos por circunferencias concéntricas equidistantes, lo que constituye un precedente de las proyecciones cónicas (fig. 11). Posteriormente, construyó todos los paralelos en su verdadera dimensión, lo que produjo meridianos irregularmente curvos, desarrollados "en abanico", como en la proyección de Bonne (fig. 11). Desgraciadamente, sobre estas ingeniosas mallas de referencia —que llevaron la representación de las coordenadas terrestres a un grado de perfección no superado hasta el siglo XVIII—, Ptolomeo acumuló errores de posición: muchas de sus latitudes están falseadas y casi todas las longitudes son demasiado grandes. Además, adoptó la medida errónea de Posidonios para la circunferencia terrestre, obteniendo así un mundo exageradamente extendido de Este a Oeste, 50° mayor que el real. Este error fue causa indirecta del descubrimiento de América, por la confusión que produjo a los navegantes españoles del Renacimiento.

D) *Características de la cartografía antigua*

Pese a sus graves defectos, la cartografía antigua fue una obra maestra. Contenía ya las nociones fundamentales de la cartografía moderna: esfericidad de la Tierra, determinación astronómica de las latitudes, e incluso de las longitudes (mediante la observación de eclipses), coordenadas terrestres, sistemas de proyección. Sin duda, su carácter fundamental fue el constituir una cartografía de conjunto, orientada a proporcionar una imagen de la totalidad del mundo entonces conocido, e incluso, más allá de éste, de las tierras hipotéticas que debían equilibrarlo; por ejemplo, las Antípodas occidentales y australes representadas en el globo de Crates, hacia el año 150 a.J.C. Esta tendencia a lo exhaustivo y universal, consecuencia de la progresiva puesta a punto de los datos recogidos por los viajeros, contrasta con lo que se sabe de la cartografía china, que se limitó, según parece, a una representación muy detallada, pero exclusivamente restringida a los límites del Imperio.

2. Período medieval y Renacimiento. La nueva cartografía

A) *El ocaso de la cartografía occidental*

En el campo de la cartografía, como en muchos otros, el final del mundo antiguo y la alta Edad Media constituyeron períodos de decadencia y oscurantismo, al menos en lo que concierne a la Europa occidental. El declive del comercio marítimo, las invasiones bárbaras y el derrumbamiento del poderío romano, privaron a la cartografía de muchas de las motivaciones prácticas que hasta entonces la habían sostenido. Sólo Bizancio recogió una parte de la antigua herencia, pero no se produjeron verdaderos progresos.

Los monjes de Occidente, únicos receptores posibles de la cultura greco-latina, se dejaron arrastrar por especulaciones teológicas, entre las cuales sucumbieron los últimos restos del conocimiento objetivo. Los esfuerzos para poner de acuerdo este conocimiento con las interpretaciones de los exégetas se revelaron muy pronto inútiles. Todo se redujo a representaciones completamente convencionales y decorativas, sin ninguna base científica, tales como las "imágenes del mundo" (*Orbis terrarum*), llamadas "T en O", en las que una Tierra circular se dividía simbólicamente en tres partes, como la Trinidad, mediante dos brazos de mar, en forma de T, con Europa a la iz-



quierda, África a la derecha y Asia en la parte superior, donde estaba situado el Oriente, sede del Paraíso Terrenal (fig. 3). Estas imágenes de fe, no de razón, más o menos iluminadas y complicadas, perduraron hasta los principios del Renacimiento.



FIG. 3. — *Mapa medieval "T en O"*

En esta misma época se produjo en la India un notable desarrollo de la astronomía y de las matemáticas, y en Extremo Oriente un florecimiento de nuevas invenciones: el papel, la impresión por medio de madera grabada, la brújula. En China, los grandes trabajos de ordenación y los viajes a Japón, India, Indonesia y Asia central aportaron datos importantes a los geógrafos. A partir de Peï Hsiu (224-273), los cartógrafos chinos extendieron progresivamente la representación de la Tierra a todo el Asia, aunque todavía parecían ignorar el mundo occidental.

B) *Los árabes*

El nexo de unión entre ambos mundos debía correr a cargo de los árabes. Situados entre Oriente y Occidente, gracias a la explotación de las rutas marítimas hacia la India y de las terrestres hacia el Turkestán y China; situados también entre el pasado y el presente, gracias a la traducción a su propio idioma de los autores griegos más dignos de fe, los árabes aseguraron especialmente la transmisión íntegra de la herencia de Ptolomeo, así como su enriquecimiento con conocimientos indios y chinos, y con los suyos propios sobre el océano Índico, África y particularmente España.

Edrisi (1099-1164), su más ilustre cartógrafo y viajero, conservó la geografía matemática tal y como había sido recibida de los griegos, y dio a la escuela de Palermo un esplendor comparable al que tuvo antaño la de Alejandría. Basándose en datos positivos, construyó en 1154 un gran mapamundi, en el que el Norte estaba situado en la parte inferior, como en los mapas chinos. Este mapamundi, que iba acompañado por 70 mapas de detalle, abarcaba desde la Europa occidental y Escandinavia hasta la India y China, incluyendo también el Sahara, y puede considerarse como en la suma de los conocimientos geográficos de los árabes hacia la mitad del siglo XII. En Europa, sin embargo, la renovación no comenzó hasta el siglo XV, coincidiendo con los grandes viajes de los italianos a Oriente, el resurgimiento del tráfico en el Mediterráneo, los progresos de la cartografía marítima y el redescubrimiento de Ptolomeo.

C) *Los portulanos*

Las representaciones cartográfico-teológicas de los mejores europeos no podían satisfacer a los navegantes. Hacia finales del siglo XII, el uso de la brújula, traído por los árabes de Extremo Oriente, revolucionó las cartas de navegación. Los marinos, acostumbrados a observar su rumbo mediante brújulas, de un modo natural y sin preocuparse de las cuadrículas graduadas de los sabios —por otra

parte casi olvidadas—, construyeron mapas en los que representaban las direcciones por ellos seguidas. Mediante intersecciones a partir de puntos conocidos, obtenían la posición de otros desconocidos; inversamente, una ruta trazada sobre el mapa les proporcionaba el rumbo a seguir. Estas "cartas de pilotos", "portolanos" o *portulanos*, eran fundamentalmente prácticas y empíricas, y se revelaron lo bastante exactas y eficaces como para obtener, desde el siglo XIV al XVI, un éxito merecido.

Los grandes maestros de los portulanos fueron los cartógrafos italianos de Pisa, Génova, Venecia y Sicilia, así como los catalanes de Barcelona y los mallorquines. A base de una constante puesta al día de sus documentos, con la ayuda de los nuevos levantamientos, consiguieron una imagen cada vez más precisa de las costas de la cuenca mediterránea y del Atlántico próximo. Incluso alguno de ellos, en el siglo XIV, incorporaron a sus mapas informes recogidos por viajeros terrestres, especialmente los de Marco Polo (fines del siglo XII), uniendo de este modo Europa con China.

La construcción de los portulanos estaba basada en los rumbos de rosas de los vientos divididas en 8, 16 o 32 partes, y no se refería a ningún sistema de coordenadas. En aquella época, la medida en el mar de longitudes y latitudes era prácticamente imposible. El Norte estaba situado en la parte superior del mapa, siguiendo la dirección de la aguja imantada, siendo por tanto el Norte Magnético la línea de fe. Como consecuencia, y a causa de la declinación, se producía un trazado algo inclinado de los ejes Oeste-Este, como ocurría en el Mediterráneo. Una rosa central se enlazaba en todas sus direcciones, mediante "líneas de vientos", a otras rosas dispuestas según un polígono de 8, 16 o, más raramente, 32 lados (fig. 4). Las líneas que los navegantes trazaban sobre estas cartas eran, de hecho, loxodrómicas [5] rectilíneas. Dada su construcción empírica, los portulanos conducían necesariamente a una proyección conforme, es decir, conservadora de los ángulos, análoga a los "mapas planas", pero cuyos meridianos eran los magnéticos, no los geográficos. Esto constituyó un segundo paso hacia la proyección de Mercator. Los portulanos llevaban además una escala gráfica que permitía el cálculo aproximado de las distancias. Estos dibujos, a menudo de una precisión

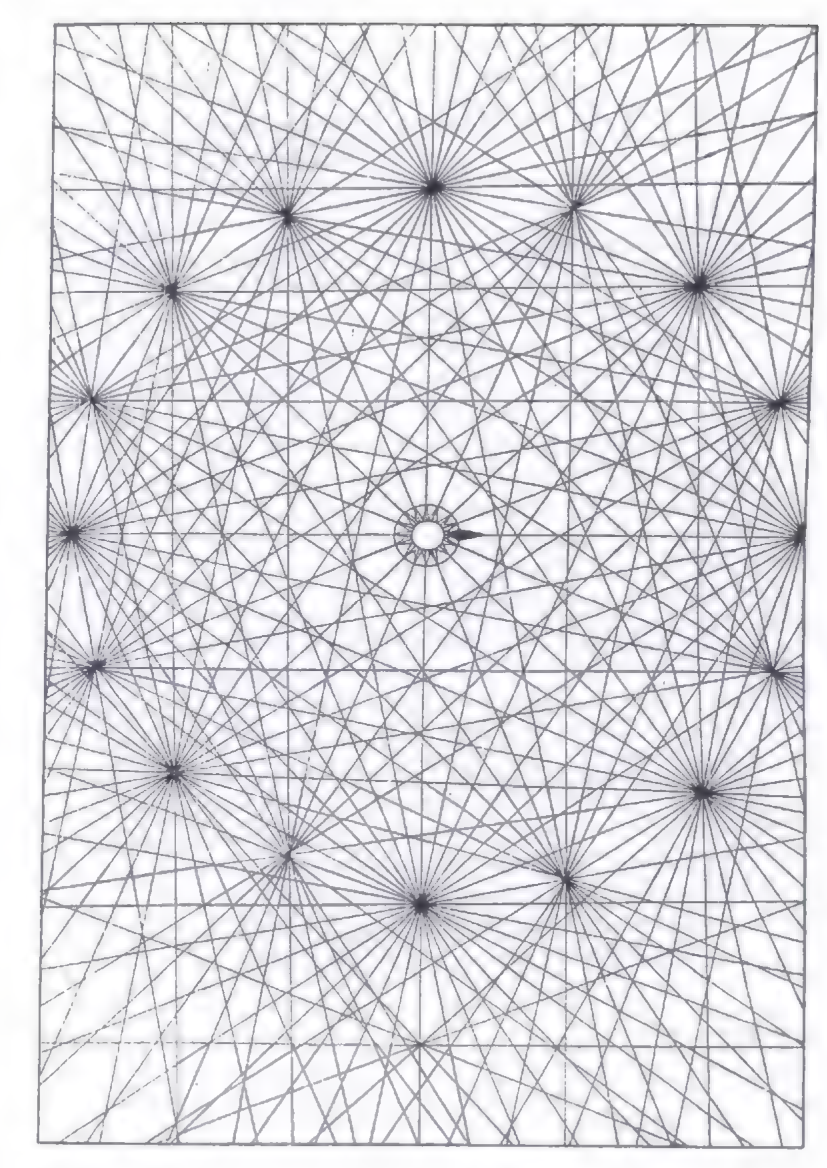


FIG. 4. – *Principios de construcción de los portulanos*

notable, constituyeron la gran aportación a la cartografía de los finales de la Edad Media.

D) *Redescubrimiento de Ptolomeo, y grandes viajes*

Otro acontecimiento importante de esta misma época fue el redescubrimiento de Ptolomeo, gracias a los manuscritos árabes. La primera traducción al latín de la obra del gran geógrafo data de principios del siglo XV. Algunas copias manuscritas, y luego impresas, se difundieron por Europa, con lo que se renovó la idea de la esfericidad de la Tierra, y se atrajo la atención de los cartógrafos sobre los mapas en coordenadas. Por otra parte, la creciente extensión de las superficies a cartografiar y la práctica corriente de la navegación de altura obligaban a recurrir a mapas cada vez más exactos, sobre los cuales pudieran registrarse posiciones obtenidas mediante observaciones astronómicas. Se construyeron por ello mapamundis y globos terráqueos (como el famoso de Martín Behaïm, de Nüremberg, en 1492), que añadieron, con mejor o peor fortuna, los conocimientos adquiridos mediante los portulanos a los heredados de la ciencia antigua. En estos mapas se mantuvieron por tradición los errores en longitud de Ptolomeo, en vez de corregirlos con los nuevos datos experimentales, con lo que parecía factible alcanzar China y la India desde Europa occidental, mediante navegación hacia el Oeste...

Los grandes viajes de Cristóbal Colón (1492), Vasco de Gama (1497), Núñez de Balboa (1513), Magallanes y Elcano (1519-1522), seguidos por los de los navegantes ingleses y franceses, ampliaron desmesuradamente el conocimiento geográfico de la Tierra, en solo cincuenta años. La cartografía recuperó así su carácter universal, rebasando el marco de los portulanos, e incluso el de la proyección de Ptolomeo, que sólo era válida para latitudes medias.

E) *La nueva cartografía*

Los maestros de la nueva cartografía no fueron navegantes, sino matemáticos y astrónomos, principalmente alemanes y flamencos,

que propusieron algunas proyecciones originales para abarcar el conjunto de la Tierra. Si bien algunas de ellas no son más que la misma proyección "en abanico" de Ptolomeo desarrollada, prolongada o partida por el Ecuador, otras pueden considerarse como completamente nuevas (ver capítulo I, párrafo II). Citaremos como ejemplo las llamadas "globulares", que permitían representar dos hemisferios acolados; o bien las proyecciones divididas en husos, que podían ser pegadas sobre globos esféricos, los cuales constituyeron el orgullo de la producción cartográfica de los siglos XVI y XVII. Pero las más importantes fueron las que idearon casi simultáneamente Mercator (1569) y Ortelius (1570) en Anvers. La proyección de Ortelius es un mapamundi donde el mundo antiguo y el nuevo se representan cada uno mediante un círculo dividido por meridianos curvos, que cortan al Ecuador en partes iguales. La de Mercator se inspira en los portulanos, y es una proyección conforme en la que los paralelos y los meridianos se cortan en ángulo recto, aumentando la separación entre paralelos con las latitudes crecientes. El carácter práctico de esta proyección, verdadera expresión matemática del empirismo de los portulanos, sobre todo por su representación rectilínea de las loxodrómicas, la convirtió en el soporte más frecuentemente utilizado para las cartas náuticas, aplicación que se ha mantenido hasta nuestros días.

A finales del siglo XVI, pese a que existían todavía muchas incógnitas, el mundo estaba ya concebido y representado en su forma y dimensiones reales. España, Portugal, Alemania, los Países Bajos y Francia, utilizando las nuevas técnicas de grabado sobre madera o metal y de impresión, se convirtieron en centros de talleres de construcción de mapas racionales, desembarazados ya de todo carácter subjetivo, y capaces de constituir una referencia para la eventual localización de cualquier lugar.

3. Período moderno. La especialización de la cartografía entre los siglos xvii y xix

El siglo xvii puede ser considerado como un período de transición, durante el cual se perfeccionan y complementan las realizaciones de la nueva cartografía, y en cuyo final aparecen las primeras innovaciones de la cartografía científica contemporánea, que se afirman durante el siglo xviii y se desarrollan en el xix. Al mismo tiempo, la actividad de los cartógrafos va especializándose y diversificándose, a tenor de las nuevas necesidades. En lo sucesivo convendrá distinguir, sin separarlas por completo, la composición de mapas de conjunto de la de los nacionales y regionales.

A) *Cartografía general*

A principios del siglo xvii, la representación de la Tierra acababa de ser liberada de las tradiciones ptolomeicas por Ortelius y Mercator. El sistema del mundo de Copérnico (1473-1543), perfeccionado por Kepler (1571-1630) y Galileo (1564-1642), va imponiéndose lentamente. Se conocen la mayor parte de las proyecciones, y se saben construir geométricamente. Pero en lo que concierne a la determinación de posiciones, se padece aún la imperfección de los métodos de medida, sobre todo en la determinación de longitudes. Los cartógrafos se dan por satisfechos, en general, con reproducir los contornos heredados de los antiguos y situar sobre ellos los nuevos datos, sin controlarlos demasiado, ni introducir innovaciones reales, salvo quizás en lo que se refiere a la ejecución gráfica. Será preciso esperar hasta la invención del reloj de péndulo (1658) y del sextante (1672) para que se multipliquen las observaciones astronómicas de longitudes y latitudes, y se pongan en evidencia de este modo los groseros errores que se transmitían de un mapa a otro.

A partir de entonces, la principal preocupación de los cartógrafos será eliminar estos errores y llegar a obtener documentos de una exactitud incontestable. Esta idea inspira, en Francia, obras como

las de Guillaume Delisle (1675-1726), o Bourgignon d'Anville (1697-1782), autores de mapamundis que incluían los descubrimientos más recientes, y de colecciones de mapas de detalle que constituían verdaderos atlas universales. La misma idea inspiró investigaciones teóricas que intentaban perfeccionar el cálculo de las proyecciones. A partir de principios a veces conocidos desde la Antigüedad se desarrolló así el análisis necesario para la construcción rigurosa de las mallas geográficas. El matemático Lambert (1728-1777) calculó los parámetros de la proyección cónica conforme que lleva su nombre, con el propósito de conservar sobre los mapas ángulos y direcciones. El ingeniero hidrógrafo Bonne (1727-1794) llevó a cabo una puesta a punto matemática de la antigua proyección "en abanico" o "homeótera" de Ptolomeo, con el fin de conservar las superficies. A finales del siglo xviii, estaban ya definidos el encuadre general y los contornos de todas las tierras entonces conocidas. En adelante, los cartógrafos no tendrán más que completarlos, a medida que vayan produciéndose nuevos descubrimientos.

B) *Cartografía regional*

Desde finales del siglo xvii, lo que caracteriza a la cartografía regional es la introducción de la geodesia y la topografía en el levantamiento de los mapas. Hasta entonces, los mapas regionales se obtenían generalmente a partir de mapas de conjunto, bien de Ptolomeo o de los portulanos, acompañándose de informes terrestres muy sucintos. El célebre mapa de Francia de Oronce Fine, publicado en 1538, conservaba todavía muchos de los caracteres ptolomeicos. A finales del siglo xvi, apareció el primer atlas especialmente dedicado a Francia, el *Teatro francés* de Bourguereau de Tours, que constituyó un modelo para otros del mismo tipo, especialmente en Gran Bretaña. Los dieciocho mapas de que consta, de los cuales cuatro eran de conjunto, una vez rehechos y completados por La Guillotière y Le Clerc, permanecieron durante casi todo el siglo xvii como la mejor representación cartográfica del reino. Pero la creciente complejidad de la administración, las necesidades de la guerra y los

proyectos de grandes trabajos emprendidos por Colbert, no podían contentarse con mapas tan sumarios. La Academia de Ciencias francesa, creada en 1666, fue encargada de estudiar la posibilidad de levantar mapas más precisos y a mayor escala, y de dirigir su elaboración. Así se dieron los primeros pasos en lo que entonces se llamó "cartografía geométrica", y hoy denominamos "cartografía topográfica".

C) *Progresos de la geodesia*

Los progresos del racionalismo científico y del perfeccionamiento de los instrumentos de medida hicieron posible la empresa. Las primeras medidas geodésicas por triangulación, propuestas en 1617 por el holandés Snellius, se habían realizado ya en Inglaterra e Italia. La Academia francesa confió la redacción del proyecto a uno de sus miembros, el Padre Picard, quien se rodeó de colaboradores bien calificados, astrónomos como él: La Hire, de París, y Jean-Dominique Cassini, de Bolonia. Se trataba de llevar a cabo la triangulación de un arco de meridiano, y levantar un plano experimental de los alrededores de París, a escala 1:86.400 (una línea por cada 100 toesas). Las observaciones efectuadas entre París y Amiens en 1669-1670 dieron como valor de la circunferencia terrestre 20.541.600 toesas, es decir, 39.933 km, en el supuesto de una Tierra esférica.

Pero, ¿era realmente la Tierra esférica? Se había comenzado ya a dudar de ello, a partir de la comparación de los resultados obtenidos en Francia, Inglaterra e Italia, que delataban un ligero aumento de la longitud del grado desde el polo hacia el ecuador, lo que implicaba un alargamiento del eje polar con respecto al ecuatorial, contrario a la reciente teoría de Newton. Los astrónomos concedieron prioridad a la verificación de esta hipótesis sobre los problemas propiamente cartográficos. La prolongación hacia el Sur de la cadena de Picard, hasta el Canigou (realizada por J.-D. Cassini y su hijo, en 1683-1702), y hacia el Norte hasta Dunkerke (por La Hire y, posteriormente, por su hijo y el de Cassini, en 1683-1718), confirmaron en apariencia los datos precedentes. Se consideraba sin embargo

que, sobre una distancia tan pequeña y arcos tan reducidos, los resultados podían ser enmascarados por los errores de observación. Para resolver esta duda, la Academia de Ciencias francesa decidió efectuar dos medidas de arcos de meridiano suficientemente alejados el uno del otro, con el fin de disipar cualquier equívoco. Una de estas medidas fue efectuada en Laponia por Maupertuis y Clairaut (1736-1737), y la otra en Perú por Bouguer y La Condamine (1735-1743).[6] Esta vez, los resultados mostraron sin lugar a dudas que el grado polar era mayor en longitud que el ecuatorial, confirmando así la teoría de que la Tierra no era una esfera, sino un elipsoide de revolución aplanado en los polos, de acuerdo con las ideas de Newton.

La cartografía se aprovechó de estos logros de la geodesia, aunque progresó más lentamente. Desde entonces, los mapas de detalle se apoyaron en observaciones astronómicas serias, y en triangulaciones cada vez más densas.

D) *Mapas a gran escala*

Durante todo el siglo XVII, el objetivo principal de los trabajos cartográficos a gran escala había sido de tipo militar. En casi toda Europa se elaboraron planos de ciudades, plazas fuertes y campos de batalla, para uso de los ejércitos en campaña, o para ilustrar la historia guerrera. En 1668, Louvois fundó en Francia el "Depósito de la Guerra", que tenía por misión reunir y clasificar todos estos mapas. Se encargó la realización de otros nuevos al cuerpo de "ingenieros de los campamentos y de los ejércitos", organizado por Vauban en 1696, que en el siglo XVIII había de convertirse en el de "ingenieros geógrafos". Éste fue el origen de los futuros servicios "cartográficos" o "geográficos" de los ejércitos que, en muchos países, todavía hoy son los encargados del levantamiento de mapas.

Sin embargo, las necesidades civiles requerían otros medios. A petición de las autoridades eclesiásticas, se habían levantado ya algunos planos de parroquias y de diócesis. Pero fue Colbert quien tomó la iniciativa de sugerir la necesidad de una cartografía completa del reino. En 1678 se publicaron nueve de las hojas del plano

de los alrededores de París, proyectado por la Academia, y apoyado en la triangulación de Picard. Y en 1682 La Hire presentó a Luis XIV un mapa general de sus estados que tenía en cuenta todas las observaciones efectuadas hasta entonces. Francia conoció por fin sus dimensiones exactas, un poco disminuidas, sobre todo en el sentido de las longitudes, con respecto a los mapas precedentes.

E) *Mapa de Cassini*

Sin embargo, hasta la segunda mitad del siglo XVIII, no se realizó el primer gran "mapa geométrico de Francia", a escala 1:86.400, llamado mapa de Cassini,[7] del Observatorio, o de la Academia. Una escrupulosa revisión del arco del meridiano (1740) y una triangulación general de Francia (1733-1744) precedieron a este mapa. La proyección utilizada era una cilíndrica transversa sobre el meridiano de París, que presentaba importantes deformaciones en sus extremos Este y Oeste, pero que resultaba aceptable en conjunto, para todo el territorio cubierto. Los levantamientos topográficos, generalmente realizados con brújula y a pasos, resultaron de innegable valor, pero la representación del relieve mediante normales que indicaban las mayores pendientes resultó poco expresiva; carecía, además, de cotas de altitud.

La realización de este mapa comenzó en 1748, y padeció diversas vicisitudes de orden político y económico. Pese a ello, en 1789 se había completado prácticamente el levantamiento, y 165 de las 182 hojas que debían constituirle estaban terminadas en 1793. El Depósito de la Guerra fue encargado de la publicación de las hojas restantes y del mantenimiento y revisión de las planchas, misiones que mantuvo hasta 1817. Inglaterra, Dinamarca, Suecia, el Imperio Austríaco, e incluso Rusia y algunos países de ultramar, imitaron este ejemplo. Pese a todos sus defectos, el mapa de Cassini marcó una etapa fundamental en la cartografía, y constituyó la partida de nacimiento de los mapas topográficos nacionales.

F) *Mapas especiales*

Este notable impulso de los mapas topográficos no debe hacernos olvidar el hecho de que, desde finales del siglo XVI, habían aparecido otros mapas orientados a ilustrar fenómenos particulares que se deseaba mostrar independientemente. Con este objeto se confeccionaron mapas hidrográficos, cartas náuticas, planos de bosques, de redes fluviales, de carreteras, de postas, de límites políticos y administrativos... Su objetivo era esencialmente utilitario, y sus escalas las más apropiadas a los fines perseguidos. Algunos quedaron manuscritos, otros fueron grabados y difundidos mediante algunos cientos de ejemplares; el más conocido de todos ellos es el "Mapa de los cazaderos del Rey", levantado a escala 1:14.400 por los ingenieros geógrafos del Depósito de la Guerra entre 1764 y 1773, y publicado en doce hojas a escala 1:28.800, que alcanzó, en lo que se refiere a la representación planimétrica, una gran perfección. Todos estos mapas especializados son los antecesores de los *mapas temáticos*. Así pues, a principios del siglo XIX ya existían, en potencia, las múltiples facetas de la cartografía que hoy podemos reconocer.

III. CARTOGRAFÍA TOPOGRÁFICA Y CARTOGRAFÍA TEMÁTICA

El período contemporáneo de la cartografía comienza con las grandes realizaciones del siglo XIX, y se caracteriza por la progresiva divergencia de las dos tendencias que ya se perfilaron durante los siglos XVII y XVIII: la cartografía topográfica y la temática. A decir verdad, esta dualidad, normalmente admitida, obedece a un abuso del lenguaje o, al menos, a una deficiencia del lenguaje corriente; pues, si bien el adjetivo "topográfico" tiene el sentido preciso de "representación exacta y detallada de un lugar", el "temático", que es por otra parte de uso reciente, tiene un significado vago y bastante polémico. En efecto, todo mapa, incluso el topográfico, ilustra un "tema". Sin embargo, las otras denominaciones propuestas, como

"cartografía aplicada", "cartografía especial", o "especializada", resultan igualmente inadecuadas. Y, en fin, hay que tener en cuenta que actualmente, se deplore o no, el vocablo "temático" ha hecho fortuna a la hora de calificar todo mapa cuya finalidad sea distinta de la puramente topográfica.

Además, estos dos tipos de mapas se distinguen realmente de varios modos: por el objetivo perseguido, por los métodos empleados en su construcción, e incluso —y en gran medida— por la formación y cualificación de los cartógrafos encargados de realizarlos. Sólo queda añadir que hoy en día las diversas clases de mapas son tan numerosas que esta simple división ha sido ya sobrepasada, y resulta difícil establecer una clasificación racional de todos los mapas existentes.[8] No obstante, puede afirmarse que los mapas temáticos tienen siempre como fondo y soporte los que representan la superficie terrestre.

1. Mapas representativos de la superficie terrestre

A) *Mapas topográficos*

Se entiende por mapa topográfico *una representación exacta y detallada de la superficie terrestre, referente a la posición, forma, dimensiones e identificación de los accidentes del terreno, así como de los objetos concretos que se encuentran permanentemente sobre él.*

El fin de estos mapas es esencialmente práctico. En ellos, deben poder identificarse todos los elementos inmediatamente visibles en el paisaje, y efectuarse medidas precisas de ángulos, distancias, diferencias de nivel y áreas. Naturalmente, la precisión de estas medidas variará con la escala. Por ello, en el lenguaje técnico cartográfico sólo se consideran como mapas topográficos aquéllos cuya escala está comprendida entre 1:10.000 y 1:100.000.

B) *El "Mapa del Estado Mayor", a escala 1:80.000*

El primer mapa verdaderamente digno de ser calificado como topográfico fue el mapa de Francia a escala 1:80.000, llamado "del Estado Mayor". Todavía un siglo después de su terminación era el único que, con su ampliación a 1:50.000, cubría totalmente el territorio francés. Concebido para reemplazar al mapa de Cassini, que había llegado a ser insuficiente, estaba destinado al uso de todos los servicios públicos, y debía aprovecharse de todos los recientes progresos técnicos y científicos, así como de la experiencia obtenida de los mapas extranjeros, realizados según el ejemplo del propio mapa de Cassini.

Tras varios proyectos, entorpecidos de 1790 a 1816 por los acontecimientos políticos, los trabajos comenzaron en 1818. Los cartógrafos civiles deseaban que los levantamientos se efectuasen a 1:10.000, y el mapa a 1:50.000; los militares se contentaban con un mapa a 1:100.000. Las circunstancias económicas obligaron a adoptar la escala 1:80.000, efectuándose los levantamientos a 1:40.000. Su ejecución fue confiada al Depósito de la Guerra y a los ingenieros geógrafos, y se prolongó hasta 1880, pese a la indiferencia, e incluso hostilidad, de los sucesivos parlamentos y ministerios de finanzas.

La proyección adoptada fue la equivalente de Bonne, especialmente indicada para las necesidades administrativas. Fue necesario efectuar una nueva triangulación geodésica de Francia, apoyada en el arco de meridiano medido por Delambre y Méchain en 1792-1799 con el fin de definir el metro, que se terminó en 1863. Al mismo tiempo, se efectuaron las operaciones topográficas, basadas en datos catastrales reducidos a 1:40.000, y completadas por levantamientos sobre el terreno realizados con plancheta. La representación del relieve se llevó a cabo, al principio, mediante cotas de altitud y curvas de nivel, con una equidistancia de 10 metros. En la ejecución definitiva del mapa se reemplazaron estas curvas por normales, dibujadas según un cierto "diapasón"; las minutas a 1:40.000 se volvieron a dibujar a 1:80.000 sobre planchas monocromas, grabadas sobre cobre por especialistas, y diferentes para las aguas, el relieve, la rotulación,

etcétera. Las hojas fueron finalmente impresas mediante prensas planas. Los levantamientos se terminaron en 1866, pero hasta 1880 no se publicaron las últimas hojas, de las 273 de que constaba el mapa, el cual fue mantenido regularmente al día hasta 1952.

El mapa del Estado Mayor constituyó un trabajo notable, pero no respondió a las esperanzas de sus promotores. Presenta, en efecto, muchos errores de posición, y especialmente de altitud, en el conjunto de su red geodésica. También la planimetría, aunque muy detallada y concienzudamente generalizada, carece de la precisión suficiente. El dibujo del relieve ofrece aún menos garantías, debido a la insuficiencia de la nivelación y a la necesidad de apreciar a estima el trazado de las curvas de nivel, a partir de las normales indicadoras de las pendientes. No por ello dejó de ser este mapa una especie de obra maestra de la cartografía topográfica del siglo XIX, y un modelo seguido por otros muchos, como el 1:100.000 de Suiza, el de idéntica escala del Imperio alemán y el 1:63.360 (1 pulgada por 1 milla) de las Islas Británicas.

C) *Nuevos progresos de la cartografía topográfica*

El mapa del Estado Mayor se terminó en el momento en que surgían nuevas técnicas, y se obtenían resultados científicos importantes. En efecto, el uso sistemático de la fotografía [9] iba a simplificar considerablemente, en adelante, las operaciones cartográficas propiamente dichas: reducciones, ampliaciones, planchas de impresión en piedra o zinc, etc. En particular, iba a facilitar la ampliación por cuartos, a 1:50.000, de las hojas a 1:80.000. Simultáneamente, se perfeccionaban las técnicas de la poligrafía, es decir, de la impresión mediante planchas de colores correctamente ajustadas, lo que iba a revolucionar la publicación y la presentación de los mapas. En este campo, el mapa de Suiza conocido como "mapa Dufour" había demostrado todas las ventajas que se podían obtener para hacer los mapas más legibles y agradables. Por otra parte, los progresos en la construcción de instrumentos ópticos (alidadas, teodolitos, niveles de anteojo) permitían mejores observaciones geodésicas. Una nueva

medida del meridiano de Francia (1870-1892) y una nueva triangulación, comenzada en 1898 y calculada sobre el reciente elipsoide de Clarke (1880), con un aplanamiento de 1:293,4, proporcionaron una base más exacta a los levantamientos. Finalmente, a partir de 1884, se inició una nivelación de precisión de Francia.

Todos estos progresos incitaron a la confección de un nuevo mapa, lo que se juzgó preferible a la puesta al día del anterior a 1:80.000. El correspondiente proyecto, aprobado en 1900, fue confiado al Servicio Geográfico del Ejército, que había sustituido en 1887 al Depósito de la Guerra. Los trabajos comenzaron en 1901, y fueron entorpecidos frecuentemente por los acontecimientos políticos y la incomprensión de los servicios financieros. Tras la creación, en 1940, del Instituto Geográfico Nacional, organismo civil, avanzaron algo más rápidamente; pero las normas de ejecución fueron modificadas varias veces, de modo que Francia llegó a ser uno de los pocos países europeos que todavía no disponían de un mapa de base homogénea y factura moderna que cubriese la totalidad de su territorio.

Más adelante veremos cuáles son las operaciones necesarias para elaborar un mapa de estas características. La escala adoptada fue 1:50.000; como proyección se eligió una conforme de Lambert, primero policónica y después cónica secante. La representación del relieve se efectuó mediante curvas de nivel, realzadas mediante sombreado. Inicialmente, los levantamientos se realizaron con plancheta, a 1:10.000 o a 1:20.000, con trazado de curvas; en 1932, fueron reemplazados por procedimientos fotogramétricos, completados por topografía clásica sobre el terreno, los cuales se publican actualmente a escala 1:25.000.

Después de la primera guerra mundial, la introducción de la fotografía aérea fue poco a poco modificando radicalmente el levantamiento de mapas topográficos. Los métodos fotogramétricos, y el número relativamente reducido de modelos de instrumentos restituidores de precisión, produjeron una cierta uniformidad en las normas para la elaboración y presentación de los mapas. La necesidad de contar sobre el terreno con numerosos puntos geodésicos de apoyo, la complejidad de redacción de las minutas terrestres o fotográficas

y las dificultades de dibujo e impresión de las planchas definitivas, explican que la cartografía topográfica haya llegado a ser una especialidad generalmente a cargo de poderosos organismos estatales, que disponen de personal altamente cualificado. Es cierto que también existen empresas privadas dedicadas a la topografía o a la fotopografía, pero sus trabajos, generalmente de encargo, se refieren sólo a superficies reducidas y a objetivos limitados.

D) *Mapas de conjunto*

Los mapas cuya escala es inferior a 1:100.000 no tienen las cualidades de exactitud y detalle requeridas para ser mapas topográficos. Solamente los puntos principales están en ellos rigurosamente situados, mientras que muchas de sus representaciones son puramente convencionales; además, las medidas sobre ellos son más difíciles o más aleatorias. Se denominan por ello *mapas corográficos* los que describen no ya lugares, sino una región, un grupo de regiones o incluso un continente. Cuando abarcan la totalidad de la Tierra se denominan *planisferios* o *mapamundis.*[10]

Generalmente, son también los servicios "topográficos" o "geográficos" los únicos que cuentan con medios suficientes para la construcción de estos *mapas de conjunto.* Como quiera que en ellos se hacen figurar, además de las localidades y la toponimia, todo tipo de indicaciones, tales como límites de Estados o administrativos, importancia relativa de las poblaciones, vías de comunicación, etc., sirven también de *mapas de referencia.* Algunas veces se les reúne en *atlas,* en los que son tratados a diversas escalas, de acuerdo con la importancia del tema, o según los detalles que se pretenda destacar.

2. Mapas temáticos

El objeto de los mapas temáticos es *dar, sobre un fondo de referencia, mediante símbolos cualitativos o cuantitativos, una representación convencional de los fenómenos localizables de cualquier naturaleza, y de sus correlaciones.*

El fondo de referencia puede ser más o menos completo y más o menos denso; puede ser, por ejemplo, simplemente hidrográfico. Este fondo se obtiene siempre de los mapas básicos. La cartografía temática depende pues, indirectamente, de los mapas topográficos y de conjunto. La escala y proyección del fondo de referencia deben ser escogidas, naturalmente, en función de los detalles a expresar y de la naturaleza de los fenómenos a representar.

Los fenómenos localizables sobre mapas temáticos son innumerables. Enumerarlos en su totalidad equivaldría a hacer un catálogo de todas las materias susceptibles de un aspecto cualquiera de distribución en el espacio. Los temas a tratar abarcan un dominio prácticamente ilimitado, tanto en el espacio como en el tiempo. Esta diversidad es un carácter esencial de la cartografía temática, a diferencia de la topográfica, cuyo objeto es mucho más preciso y, por tanto, más restringido.

La cartografía temática es tan antigua como la misma cartografía. Hemos visto que, en su espíritu, ya que no en su forma actual, ha precedido incluso a la cartografía topográfica, con los mapas de itinerarios, las cartas náuticas y los mapas militares o administrativos. Hasta fechas muy recientes, no se experimentó la necesidad de designar a estos mapas con otro nombre que el de "mapas geográficos", puesto que abarcaban, en efecto, todos los campos de estudio de la geografía. No obstante, a partir del siglo XIX, fueron desbordando progresivamente este marco, para extenderse a muy diversos objetos: mapas geológicos, políticos, históricos y, más tarde, climatológicos, de vegetación, edafológicos, mapas de carreteras, aeronáuticos, turísticos, etc.

La introducción de procedimientos modernos de investigación, como la documentación estadística, la fotografía aérea, o actualmente la informática, así como los progresos conseguidos en la expresión gráfica y en la impresión, han contribuido al avance de la cartografía temática tanto como al de la topográfica. Desde sus orígenes puramente cualitativos, ha llegado a ser cuantitativa y comparativa, conociendo un impulso sin precedentes en el curso del siglo

XX, sobre todo desde los años 1920-1930, con la aparición de series a media o a gran escala, y de atlas temáticos nacionales o regionales. Esta expansión ha producido una notable diversidad de métodos de investigación y de representación, así como una gran disparidad en la forma de representar los resultados, incluso para un mismo tema. De ahí los esfuerzos actuales, cada vez más apremiantes, para llegar a una cierta normalización, que no siempre es fácil de aplicar.

La concepción, redacción y ejecución de los mapas temáticos rebasan en general la competencia de los simples topógrafos. De modo que, pese a la anterioridad histórica de su denominación, los ingenieros "geógrafos" y los servicios "geográficos" sólo se ocupan válidamente de un sector restringido de la cartografía, el de los mapas topográficos, cuestión que, a veces, se presta a confusión. La confección de mapas temáticos compete, ante todo, a los especialistas de los temas cartografiados, que no siempre son puramente "geográficos". Estos especialistas deben, al menos, familiarizarse con las técnicas de la cartografía, o bien rodearse de cartógrafos que posean a la vez los conocimientos técnicos necesarios y una comprensión suficiente de los problemas científicos que han de tratar. Esto plantea el problema de una formación profesional apropiada, muy poco extendida todavía.

IV. LA CARTOGRAFÍA ENTRE LOS DIVERSOS MODOS DE EXPRESIÓN GRÁFICA

Pese a su originalidad, la cartografía no puede ser separada de un conjunto más amplio, que es el de la expresión gráfica en general. La expresión gráfica debe ser concebida como un lenguaje, es decir, como uno de los medios fundamentales empleados por el hombre para registrar y comunicar a otros sus observaciones y reflexiones. Como tal, tiene sus leyes, sus estructuras, e incluso su estética. El conocimiento teórico de estas propiedades constituye el objeto de la *semiología gráfica*,[11] que pretende definir y formular las reglas racionales de empleo del lenguaje gráfico.

El uso y la potencia de la imagen son conocidos desde hace largo

tiempo. La imagen ha precedido a la escritura en los sistemas de intercambio entre los hombres. El lenguaje gráfico, que se dirige a la vista como el lenguaje hablado al oído, constituye, como este último, un medio para almacenar, tratar y difundir la información. Se beneficia además de una cierta simplicidad que le pone al alcance de todos sin gran esfuerzo de iniciación, y de una gran eficacia, gracias a su percepción directa e inmediata. "Utilizar del mejor modo posible esta potencia considerable de la visión, en el marco de un razonamiento lógico, tal es el objeto de la *gráfica*" (J. Bertin).

Definida de este modo, la gráfica aparece como un lenguaje racional, universal y operativo, con los mismos títulos que la matemática. Cada signo a emplear está previamente precisado, condensado, esquematizado y calificado en una lista explicativa denominada *leyenda*, que acompaña al dibujo. Las combinaciones de signos permiten traducir todos los encadenamientos y relaciones lógicas existentes entre los objetos o los conceptos que estos signos representan. Como la matemática, la gráfica interviene simultáneamente a los niveles de memorización de la documentación, razonamiento sobre la información y presentación de los resultados obtenidos. La imagen puede, en efecto, servir de repertorio, o de inventario. Puede también constituir un proceso de manipulación de la información, puesto que, ya sea por confrontación o por superposición, permite sugerir correlaciones y establecer simplificaciones lógicas. Puede, en fin, constituir una herramienta en la transmisión del pensamiento bajo la forma de una percepción visual fácil de memorizar; por ejemplo, un croquis o un mapa. El mundo de las imágenes tiene además sobre el de las palabras la enorme ventaja de una fuerza incomparable de integración, a la cual se añade la posibilidad de una lectura prácticamente instantánea que favorece la recepción, en tiempo mínimo, de un volumen máximo de informaciones disponibles.

En efecto, la gráfica dispone para expresarse de tres variables perceptibles simultáneamente: las dos dimensiones del plano del dibujo (x, y), y los caracteres del símbolo figurativo (z), que puede variar en forma, dimensión, estructura, orientación, color o tono. Es particularmente apta para la representación de conjuntos, grupos y relaciones complejas con múltiples variables. Sus únicas limitaciones

reales son las de la legibilidad, que dependen en última instancia de un factor fisiológico: el poder separador del ojo humano. Lo importante es elegir convenientemente el medio de expresión, en función de las correspondencias a establecer entre los datos de la información y la sensibilidad de percepción del lector. Según el caso, se utilizarán las *redes*, que proporcionan las relaciones entre los elementos de un mismo grupo; los *diagramas*, que permiten estudiar las dependencias entre dos o tres componentes distintas; y la *cartografía*, que hace intervenir la componente espacial representada por el fondo geográfico del mapa.

Por lo tanto, la cartografía no se diferencia de los otros modos de expresión gráfica más que por la introducción, en *x* y en *y*, de *una figuración simbólica del espacio concreto, sobre la cual puede ser registrada, por medio de signos convencionales apropiados, la representación visual de una información cualitativa o cuantitativa dada*. Compárese esta definición, puramente semiológica, de la cartografía con la más metodológica dada anteriormente (pp. 4-5) y con la más técnica del mapa propiamente dicho (p. 1). El conjunto de las tres dará finalmente la idea más exacta del carácter específico de la cartografía: *sistema gráfico de transcripción lógicamente ordenada sobre un plano representativo del espacio terrestre, de una información previamente recogida, analizada y reducida a sus relaciones esenciales*. De este modo, la cartografía aparece como el medio más cómodo y seguro para memorizar, tratar y presentar la distribución general y la regionalización de un fenómeno o de un grupo de fenómenos.

V. LA ERA DE LA INFORMÁTICA Y DEL AUTOMATISMO

Es bien sabido que, desde hace mucho tiempo, la información científica sobrepasa la capacidad de la memoria humana. Siglo a siglo, ha ido llenando bibliotecas y archivos, y se extiende aún más cada día. Conocerla, alcanzarla y seleccionarla es una tarea ardua y a veces incluso imposible, aunque se opere en un sector limitado. Es cierto que se han ido aportando progresos técnicos: antiguamente la

imprenta, más recientemente el microfilm y hoy en día la memoria electrónica. Pero siempre hay un retardo que debe ser superado, y nadie puede jactarse de poder disponer, en un tiempo limitado, de todo el caudal de conocimientos que podría aprovechar.

A partir de hoy, cuando una información sobrepase un cierto volumen, lo razonable, cuando no lo único posible desde el punto de vista material y económico, será recurrir a la *informática*, es decir, a los métodos de tratamiento automático de esta información mediante un ordenador. Pero conviene aclarar bien sus posibilidades, y también sus límites. La informática es un maravilloso instrumento, pero no más que un instrumento, y es necesario no confundir el fin con los medios. La máquina amplía las posibilidades de investigación del cerebro humano, pero no puede reemplazarlo completamente; puede hacer deprisa lo que el hombre sabe hacer, pero nada más; puede sustituirle en toda una serie de operaciones lógicas o materiales fastidiosas, liberándole así para una reflexión más profunda; haciendo esto, le ayuda a progresar más rápidamente. Pero, en las condiciones actuales, es totalmente incapaz de invención, de decisión voluntaria, de intuición y de imaginación creadora, cualidades necesarias para el desarrollo científico.

En todo caso, la máquina permite el tratamiento exhaustivo, conforme a un programa previamente establecido, de todos los elementos disponibles de una información, y esto por todos los medios lógicos, matemáticos o gráficos. Los pone en orden, los analiza, los compara; extrae de ellos todas las consecuencias racionales, delata los absurdos y las imposibilidades, propone las soluciones aceptables; transcribe los resultados bajo una forma permanente y archivable, en bandas o discos magnéticos, o bien con la ayuda de una impresora (listas de cifras, textos, gráficos o mapas); o incluso de forma efímera, retenible o no, mediante la pantalla catódica. Gracias al ordenador, una misma información puede ser considerada simultáneamente bajo ángulos distintos, por ejemplo estadístico, geográfico, económico, social, histórico, prospectivo, etc. Algunos minutos o pocas horas bastan ahora para resolver problemas que antes hubieran necesitado meses o años de trabajo. Además, la máquina permite suprimir, añadir o corregir la información, e introducir datos

nuevos. Ofrece también la posibilidad de realizar automáticamente operaciones gráficas que sólo necesitan ser definidas de una vez para siempre, tales como la reproducción de imágenes, la construcción de redes o de curvas, el trazado de contornos, los cambios de proyección o escala, la localización de datos cualitativos o cuantitativos. De ahí el interés que presenta la aplicación de las técnicas informáticas a la expresión gráfica y, en particular, a la cartografía.

Actualmente, la dificultad de la cartografía automática estriba no tanto en la realización técnica de mapas mediante ordenador como en la compilación de la información y en su localización. En efecto, el mapa es por esencia una referencia al espacio geográfico; una localización en x y en y es relativamente fácil de obtener automáticamente; pero los datos en z, ya sean cualitativos o cuantitativos, están lejos aún de ser conocidos para cada punto del plano. Algunos países han tomado la iniciativa de referir todos los valores, estadísticos o de otro tipo, a una malla, cuyas cuadrículas pueden tener desde algunos centenares de metros a varios kilómetros de lado. A falta de esto, sin embargo, la cartografía automática no es más que un medio de trabajo a pequeña o media escala, que apenas mejora las ventajas del análisis de una tabla estadística ordinaria.

Pero no siempre es satisfactorio reproducir por impresora interminables y áridas columnas de cifras o de textos, tan difíciles de almacenar como los libros. La época que vivimos está dominada por la imagen, bajo muchos aspectos.[12] Esquemas, croquis, caricaturas, bandas dibujadas, anuncios publicitarios, carteles, fotografías, cine, televisión, todos compiten o se complementan para captar la atención de un público trastornado, sometido a demasiada presión, y a menudo desanimado por la longitud de un texto. Son los vehículos de una información cada vez más variada, densa y cambiante, que es preciso tener al día, adaptar y difundir constantemente mediante millones de ejemplares, y para niveles de cultura muy diferentes. En esta actividad, la máquina tiene, naturalmente, su sitio. El gran triunfo de la gráfica sobre el cálculo es el poder visualizar las diversas etapas de un razonamiento y los resultados que de él se obtienen. Y esto es particularmente evidente cuando los valores pueden ser localizados geográficamente y expresados en mapas. La pantalla ca-

tódica es un precioso auxiliar, en este sentido; permite, a voluntad, mostrar gráficamente y volver a almacenar en memoria miles de documentos automáticamente seleccionados, así como corregirlos, modificarlos y extraerlos, para su reproducción sobre película o papel. Es posible entablar con la máquina una especie de diálogo compuesto de preguntas y respuestas, forjar hipótesis, tantear soluciones, imaginar nuevas investigaciones. Se abre paso con ello a una cierta cartografía de investigación, que es quizá, con el concurso de la cartografía automática y de la teledetección, la vía más original de la cartografía en la era de los ordenadores.

NOTAS

1. Sólido generado por una elipse al girar sobre uno de sus ejes; en este caso, sobre el eje menor.

2. Definición adoptada por la comisión para la formación de cartógrafos de la Asociación Cartográfica Internacional, reunida en la UNESCO (Paris, abril de 1966). Véase también la página 32.

3. Los libros sobre la cartografía en general son muy abundantes. Se encontrará una relación sucinta en la bibliografía, al final de este libro.

4. Véase G. ALINHAC, *Historique de la cartographie*, París, IGN, 1973; y también, G. R. CRONE, *Maps and their makers*, Londres, 1953, y W. BONACKER, *Kartenmacher aller Länder und Zeiten*, Stuttgart, 1966.

5. Una loxodrómica es la ruta seguida por un navío que corta a los meridianos bajo un ángulo constante.

6. En esta expedición participaron también como científicos colaboradores, tanto en las observaciones como en los cálculos, los marinos españoles Jorge Juan y Antonio de Ulloa. (*Nota del traductor*.)

7. Se trata de César-François Cassini de Thury (1714-1784), nieto de J.-D. Cassini. Su obra sería continuada por su hijo, Jacques-Dominique Cassini (1748-1845), último de la famosa dinastía.

8. Una comisión del Comité francés de Cartografía se ocupa de efectuar un inventario metódico, pero los resultados de sus trabajos no pueden ser considerados todavía como definitivos. Véase *Bull. du Com. fr. de Cart.*, París, 1965, pp. 119-138.

9. El primer gabinete fotográfico del Depósito de la Guerra data de 1859.

10. Un *planisferio* es un desarrollo plano del conjunto del globo terráqueo. Un *mapamundi* es una representación plana del globo, en forma de dos hemisferios acolados.

11. *Semiología gráfica* es el título de una obra de J. BERTIN, aparecida en 1967. El autor es uno de los que más han hecho progresar en Francia el estudio teórico de la expresión gráfica y sus aplicaciones científicas. Esta obra de primera línea reúne sus reflexiones y enseñanzas, dispersas en numerosos cursos y artículos, las cuales han sido ampliamente utilizadas en el presente párrafo.

12. R. HUYGHE, *Les puissances de l'image*, París, Flammarion, 1965.

CAPÍTULO PRIMERO

LA EXPRESIÓN CARTOGRÁFICA

La cartografía es el único procedimiento gráfico que permite una representación real del espacio geográfico. Puede intervenir en cualquier momento del análisis, de la definición y de la interpretación de dicho espacio.

Conviene pues entender bien desde el principio lo que abarca el concepto de *espacio geográfico*, y saber cómo restablecerlo, por medio de la *escala* y los *sistemas de proyección*, en los reducidos límites de la hoja de papel en que será trazado el mapa. Conviene igualmente estar bien informado sobre las características y las propiedades de las variables visuales empleadas en el *simbolismo cartográfico*, y sobre la *generalización*. Una correcta apreciación de las *cualidades de un buen mapa* forma parte integrante y esencial de la *formación del cartógrado*.

I. EL ESPACIO GEOGRÁFICO Y EL PROBLEMA DE LA ESCALA

El espacio geográfico es el constituido por la superficie terrestre, considerada en su totalidad o en una de sus partes, bajo el aspecto sensible en que se revela mediante los datos de la experiencia humana.[1]

Tomado en su conjunto, el espacio geográfico así concebido sobrepasa sensiblemente los límites del "ecumene", o espacio habitado, a los que se ha propuesto restringirle alguna vez. Los océanos, los

mares, los paisajes minerales o helados de las altas latitudes y altitudes forman también parte del espacio geográfico. Ocupa además un cierto espesor, puesto que comprende a la vez partes de la litosfera, la baja atmósfera, la hidrosfera y la biosfera.[2]

El espacio geográfico encubre también, más allá de las formas materiales y de los objetos reales directamente visibles, multitud de relaciones invisibles y de conceptos de orden físico, biológico, histórico, social, económico, psicológico, técnico, político, etc... Estas relaciones características, en un lugar y momento dados, entre los factores de equilibrio del mundo físico y del mundo viviente, constituyen el objetivo esencial de la geografía. Por tanto, la noción de espacio geográfico debe superar la simple percepción inmediata del "paisaje" para abarcar también las causas y consecuencias de la organización de la Tierra por todos sus habitantes.[3]

Así pues, el espacio geográfico se presenta a la vez bajo dos aspectos: uno empírico y subjetivo, en cuanto es primeramente aprehendido mediante una operación sensorial, y otro objetivo y científico, en cuanto es medible y explicable racionalmente.[4] Esta dualidad no es el menor de los obstáculos que se presentan al cartógrafo en la representación gráfica de la superficie terrestre. Las relaciones de la cartografía con el espacio que se propone representar pueden abordarse desde diversos puntos de vista; todos conducen a una noción relativa de las relaciones entre el espacio y el tiempo, que se concreta en el problema de la escala.

A) *La descripción gráfica*

El espacio geográfico es un espacio real; está constituido por objetos, hechos o sucesos concretos, que se distribuyen en puntos localizables sobre una superficie medible. Todo punto del espacio geográfico puede, en efecto, ser definido por su situación relativa con respecto a un sistema de referencias fijas que se llama sistema de *coordenadas terrestres.*

B) *La expresión cualitativa y cuantitativa*

El geógrafo observa sobre la superficie de la Tierra no solo hechos aislados, sino también conjuntos o combinaciones de hechos. Según los autores, se habla de "fisonomías" (Vidal de La Blanche), "medios" (Max. Sorre) o incluso de "paisajes" (G. Rougerie), *landscape* o *landschaften*, del planeta.[5] Sin embargo, estos *paisajes geográficos* no son, a decir verdad, más que la manifestación externa de realidades más profundas, constituidas por relaciones dialécticas entre los elementos, muchas de las cuales se escapan a la observación, y han de ser obtenidas mediante encuestas, medidas sobre el terreno o en laboratorio, o bien por investigación bibliográfica o estadística.[6] Aplicando estos métodos, se obtienen finalmente los equilibrios más o menos momentáneos que se establecen entre factores de muy distintos tipos, como por ejemplo las relaciones estructura-clima-relieve, clima-vegetación-suelo, medio físico-ocupación humana, materias primas-mano de obra-capital, etc.

La comprensión y la explicación del espacio geográfico requieren por tanto una búsqueda de las causas de estos equilibrios sutiles, es decir, una investigación sistemática de las correlaciones y de las interacciones. En esto consiste, hablando propiamente, el *trabajo geográfico*, que implica un análisis comparativo riguroso, y simplificaciones que, apoyándose sobre datos cuantitativos a menudo difíciles de establecer, requieren el uso metódico de un razonamiento lógico o experimental. Analizar, comparar, simplificar, es hacer lo que se llama "tratamiento de la información". El tratamiento de la información geográfica puede utilizar métodos puramente analógicos de expresión literaria, o métodos matemáticos cuyo valor depende, sobre todo, de la recogida de datos. Pero puede emplear también métodos gráficos, entre los cuales el de las comparaciones cartográficas es uno de los más apropiados.

Para poder auxiliar adecuadamente a la investigación geográfica, la cartografía ha necesitado dotarse con medios capaces de conseguir una representación ilustrada de los hechos, tanto en lo que concierne a sus caracteres cualitativos como a los cuantitativos. Para ello ha sido necesario resolver problemas técnicos difíciles, a causa de la multiplicidad de factores que afectan a un mismo punto. La solución se obtiene por superposición de datos en un mismo documento, o bien por yuxtaposición o sucesión de documentos distintos, operaciones facilitadas actualmente por el tratamiento automático. También ha sido preciso estudiar los medios para lograr una representación correcta y sugestiva de las correlaciones. Estas adquisiciones definen el carácter irremplazable de la cartografía temática, a la vez que su razón de ser y las bases de su eficacia.

C) *La variabilidad permanente del espacio geográfico*

Las combinaciones observadas en el espacio geográfico no son jamás rigurosamente idénticas de un punto a otro, ni de un momento a otro. Cada punto de la superficie terrestre, en cada instante, es de alguna forma único o, si se prefiere, individual.[7] Estas situaciones singulares son descritas como tales en lo que se llama "monografías". El espacio geográfico aparece pues, a primera vista, esencialmente troceado y discontinuo, como un dominio donde se manifiesta una permanente variabilidad.

Variabilidad en el tiempo, según las estaciones o los períodos, pero también de acuerdo con las técnicas, las costumbres, los marcos políticos. Variabilidad en el espacio, según las latitudes, las altitudes, el relieve, pero también de acuerdo con el nivel social o económico de los Estados. Variabilidad, en fin, debida a la movilidad misma de los animales y de los hombres, que se manifiesta en emigraciones, nomadismo, trashumancia, desplazamientos "pendulares", etc.

De hecho, las rupturas raramente son claras, los cambios raramente brutales; se asiste más bien a transformaciones más o menos perceptibles, transiciones laterales o sucesiones temporales, pero siempre desiguales y más o menos rápidas. De manera que la apreciación que se obtiene sobre la estabilidad de una cierta combinación, depende esencialmente del corte espacial o cronológico que se observa. Los fenómenos más lentos, o los contrastes menos radica-

FIG. 5. — *Coordenadas terrestres*

Como es bien sabido, estas coordenadas terrestres son (fig. 5):

— *la longitud* (*x*, o M), que es la distancia entre el meridiano de un lugar y el de Greenwich, tomado como origen; se expresa en grados, minutos y segundos de arco, y se mide de 0 a 180º, hacia el E o hacie el O;

— *la latitud* (*y*, o L), que es la distancia entre el paralelo de un lugar y el Ecuador, tomado como origen; se expresa en las mismas unidades que la longitud, y se mide de 0 a 90º, hacia el N o hacia el S.

Las coordenadas terrestres se determinan mediante medidas astronómicas o geodésicas, por las que se establece la *posición* del lugar sobre el geoide. Se obtiene mayor precisión multiplicando los puntos así determinados, es decir, acercándose en la mayor medida posible a la exhaustividad en

x y en *y*. Los otros puntos del espacio se sitúan por referencia a estos puntos previamente calculados.

Por otra parte, todo punto del espacio geográfico suele estar caracterizado por ciertos datos cualitativos y cuantitativos, que se expresan mediante la variable *z*; es decir, mediante la *tercera coordenada* de un espacio tridimensional, que puede ser, por ejemplo, la altitud, el valor de la pendiente, la naturaleza del suelo o su ocupación, la herencia histórica, la producción, el modo de relación con los otros puntos del espacio, etc.

La determinación de esta coordenada se apoya a menudo sobre medidas físicas o estadísticas; pero a veces se deriva de ciertas apreciaciones más o menos subjetivas de los hechos. La exhaustividad en *z* depende del número de parámetros estudiados para el punto considerado. Sin embargo, la precisión obtenida es generalmente menor que la correspondiente a la posición; es necesario recordar esto siempre, cuando se juzgue sobre el valor de los mapas.

La cartografía es la única construcción gráfica que, por medio de las transformaciones denominadas sistemas de proyección, permite realizar el traslado del sistema de coordenadas terrestres a un plano de dimensiones manejables. Ordenar todos los puntos de un espacio geográfico en función de este sistema de referencia trasladado sobre un plano, es construir el mapa de dicho espacio. Se puede pues localizar, al mismo tiempo y con la misma precisión, la cualificación o la evaluación correspondiente a la variable *z* de todos los puntos del plano, lo que se consigue mediante una representación esquemática de los diversos caracteres, con la ayuda de una tabla de signos y símbolos figurativos convencionales.

La cartografía se revela así como la mejor descripción gráfica posible del espacio geográfico.

les, sirven de algún modo como marcos "permanentes", o al menos de gran extensión o larga duración, a los que se refieren las asociaciones más "fugitivas", de extensión más restringida o de menor duración.

Juegan, por tanto, dos conceptos opuestos, que se han definido a veces [8] como:

- lo *estático*; por ejemplo, el entorno geológico, geomorfológico o incluso climático;
- y lo *dinámico*, o *funcional*; por ejemplo, la ocupación del suelo, la organización industrial, comercial, política, etc.

Ahora bien, lo que es estático a una cierta escala puede llegar a ser dinámico a otra, y viceversa.

El análisis geográfico debe tener constantemente en cuenta esta relatividad; y, en consecuencia, la cartografía debe dar expresión a sus matices. Por estas razones se elaboran, según los casos:

- *mapas estáticos*, que representan el estado momentáneo de un fenómeno o de un conjunto, siendo naturalmente el "instante" considerado función de la rapidez de las variaciones posibles; más largo, por ejemplo, para los datos geológicos que para los de ocupación humana o actividad económica;
- *o mapas dinámicos*, a veces reemplazados por simples diagramas o por invenciones de tipo informático, que expresan el movimiento, su comienzo y su final, tanto en el espacio (desplazamientos) como en el tiempo (evolución).

D) *La búsqueda de zonas homogéneas*

El espacio geográfico es por tanto un campo en el que se producen muchas combinaciones de hechos de diversos órdenes, esencialmente cambiantes y diferentes. Si bien una colección de monografías puede ayudar a comprender en detalle estos fenómenos, una geografía que se redujera a esto no llegaría a ser más que un mosaico sin

gran interés. De ahí la búsqueda legítima, y a menudo difícil, de áreas más o menos vastas en las que puedan constatarse, entre las formas o familias de formas observadas, el mínimo posible de desemejanzas o, al contrario, el máximo posible de similitudes. A estas áreas coherentes se les da generalmente el nombre de "zonas (o espacios) homogéneas".[9]

La individualización de las zonas homogéneas, su calificación y su explicación obligan a dividir el espacio geográfico en lares independientes y distintos; éste es el objeto de la *geografía regional*. Su comparación, la puesta en evidencia de sus semejanzas o diferencias, permite deducir algunas reglas de conjunto sobre la repartición de los fenómenos geográficos en el globo; éste es el objeto de la *geografía general*.

De hecho, las zonas homogéneas no siempre son fáciles de descubrir, puesto que no suelen ser evidentes, ni los criterios que conviene utilizar son forzosamente los que podrían parecer más claros. Está muy lejos, por ejemplo, la rotunda selva ecuatorial de los delicados "países" de la cuenca de París, como Brie o Vexin, y todavía más de las sutiles áreas de influencia de Burdeos o de Carpentras. Se trata de encontrar los límites de un espacio en cuyo interior las similitudes son no sólo innegables, sino también significativas. Ahora bien, la misma noción de similitud, o de homogeneidad, ofrece bajo varios aspectos: [10]

Hay *homogeneidad global* cuando todos los individuos, o todos los puntos de un espacio, tienen caracteres comparables a los del conjunto, o bien presentan entre ellos más semejanzas que con los individuos o puntos exteriores al conjunto. Una llanura cultivada, incluso con cultivos diversos, se opondrá, por ejemplo, a su entorno montañoso, dedicado a la ganadería.

Hay *homogeneidad relativa* cuando un elemento determinante, o un tipo particular de relaciones, predomina sobre todos los otros. Por ejemplo, la helada, en las regiones llamadas periglaciares; o la aridez, en los desiertos; o la sabana, o ciertas formas de ocupación del suelo (la zona algodonera de los Estados Unidos), o incluso los enlaces urbanos (la región de París).

Hay *homogeneidad recurrente* cuando, en un mismo conjunto, el mismo tipo de subconjunto se repite varias veces. Por ejemplo, la reitera-

ción del sistema de sierras y valles, en la vertiente sudoeste de los montes Cévennes. Se comprueba que la homogeneidad relativa se manifiesta, en general, sobre áreas más vastas que las otras.

La homogeneidad, como la variabilidad, no es independiente de la escala.

La búsqueda de zonas homogéneas es un tema de razonamiento analógico, a partir del momento en que los criterios están bien definidos. El tratamiento del problema es, pues, de orden matemático o gráfico. Se elaboran en primer lugar, bien por el procedimiento clásico o por métodos automáticos, tantos mapas elementales como criterios vayan a ser comprobados; esto constituye la puesta a punto de los datos. Se efectúa seguidamente una selección, que resulta de la comparación de estos mapas por yuxtaposición, sucesión o superposición, mediante manipulación manual o electrónica (pantalla catódica). Se ponen así en evidencia los casos de similitud o, por el contrario, de oposición. Finalmente, la superposición de los mapas seleccionados permite determinar con más precisión la extensión espacial de los conjuntos, sus límites y sus bordes.[11]

E) *Las relaciones espacio-tiempo y el problema de la escala*

La resolución cartográfica de un problema geográfico demuestra, mejor que cualquier otro procedimiento, la existencia de una relación fundamental entre la extensión de una zona homogénea y el número y naturaleza de los criterios de originalidad que deben ser tomados en consideración. Estos criterios son tanto menos numerosos y precisos cuanto mayor es la zona, y cuanto más tiempo ha sido necesario para su organización.

Efectivamente, en todos los puntos de la Tierra, cada objeto, cada fenómeno, cada combinación, conserva alguna huella del pasado, o, dicho de otro modo, una cierta herencia (componente histórica), y posee también un cierto potencial de futuro, a mayor o menor plazo (componente prospectiva). Por tanto, toda organización espacial caracteriza un cierto intervalo de tiempo, durante el cual

esta organización puede ser considerada como un elemento original y notable del espacio considerado. Si este intervalo de tiempo es muy corto, intervienen gran cantidad de factores, incluso muy localizados, para determinar la situación. Pero si es muy largo, solamente los factores más duraderos y más universales, menos numerosos y más extendidos, mantendrán su acción, y la zona implicada es a la vez más simple y más vasta.

La homogeneidad de una zona es, pues, muy relativa. Se refiere a un cierto espacio y una cierta duración que no son completamente independientes entre sí, lo que se expresa diciendo que se refiere a una cierta *escala espacio-temporal.* (A. Cailleux y J. Tricart).[12] El espacio geográfico puede por tanto ser subdividido en una jerarquía de unidades de diversa magnitud, que se denominan *unidades de paisaje* (G. Bertrand) o *isoesquemas* (R. Brunet).[13] Las relaciones espacio-tiempo no son forzosamente las mismas para unidades de distinta naturaleza. Por ejemplo, las de orden físico, para superficies iguales, exigen un tiempo de organización generalmente más largo que las de orden biológico y, con mayor razón, que las de orden humano (cuadro 1). Pero las componentes geográficas solamente son comparables en el marco de una misma unidad.

Esto explica la fundamental importancia de la *escala* en materia de cartografía. A ella están estrechamente ligados todos los caracteres distintivos de una unidad espacial, todos los criterios de determinación (clasificación de los objetos; naturaleza de sus relaciones), todos los métodos de investigación y, como consecuencia, todos los procedimientos de representación. A cada tipo de unidad estudiado corresponde un orden determinado de escala a utilizar (cuadro I), cuya elección depende, por supuesto, de la extensión de la unidad, pero también del tema a tratar, de los detalles a tener en cuenta, y de los medios de prospección empleados. Del mismo modo, todo cambio de escala necesita una cuidadosa revisión del sistema gráfico, en el sentido de un aumento de los detalles y de la precisión, si la escala se agranda, o, por el contrario, de una generalización, es decir, de una esquematización, si disminuye.

CUADRO 1. – *Escalas tempo-espaciales*

Orden	*Extensión espacial*	*Orden físico*		*Orden biológico*		*Orden humano*		*Ejemplos*	*Escala cartográfica*
1.^{er} orden	$\geqslant 10^7$ km^2	Zona		Zona		Zona		Plataformas continentales. Océanos. Zona tropical. Asia de los monzones.	$\leqslant$1:10.000.000
2.º –	10^6 –	Dominio Sistema	10^{7-9} años	Dominio	10^{5-6} años	Dominio	10^{5-6} años	Dominio herciniano. Sistema alpino. Dominio montañoso alpino.	1:5.000.000 1:1.000.000
3.º –	10^5 –	Sub-sistema				Provincia 10^{3-4} años		Macizo Central. Cuenca parisién. Alpes franceses. Mediodía mediterráneo.	1:500.000 1:200.000
				Región 10^{4-5} años					
4.º –	10^4 –	Región				Región		Limagne. Ile-de-France. Prealpina. Languedoc.	1:200.000 1:100.000
5.º –	10^3 –	País	10^{6-7} años	Geosistema 10^{3-4} años		País	10^3 años	Cantal. Beauce. Chartreuse. *Vignoble del Languedoc.*	1:100.000 1:50.000
6.º –	10^2 –	Formas decakilométricas 10^{5-6} años		Geofacies 10^{2-3} años		Manzana (cuadra) 10^{2-3} años		Sección de valle. Delta del Ródano. Arboleda de umbría. Territorio. Ciudad.	1:20.000 1:10.000
7.º –	10 –	Formas kilométricas 10^{4-5} años		Geotopo 10^2 años				Una vertiente. Un cono de deyección. Jurisdicción. Barrio urbano.	1:5.000 1:2.000
8.º –	1 –	Formas hectométricas 10^{3-4} años		Biotopo 1-10 años		Manzana (cuadra) 10^2 años		Lecho de río. Costa. Sector cultural. Manzana (cuadra) en ciudad.	1:2.000 1:1.000
9.º –	$\leqslant$1 Ha	Microformas 10^{1-3} años				Parcela 1-10 años		Detalle de corrosión. Frente de cantera. Micropoblación. Inmueble. Parcela.	1:1.000 1:100
10.º –	en μ	Formas microscópicas Roca		Célula				Texturas litológicas. Mantos vegetales y animales.	× 100
11.º –	en Å	Formas ultramicroscópicas Mineral		Molécula				Texturas mineralógicas. Estructuras atómicas.	× 1.000 a 10.000

II. EL PROBLEMA DE LAS PROYECCIONES

El espacio geográfico entendido como la superficie terrestre total es un espacio curvo, materializado por el elipsoide de referencia que representa al geoide. Es relativamente fácil pasar de este elipsoide a una esfera de igual superficie, a la que se llama *globo terrestre*. Pero para pasar del elipsoide a un *mapa*, dibujado sobre un plano, es necesario establecer una correspondencia adecuada entre los puntos del elipsoide y los del plano; este sistema de correspondencia se denomina *sistema de proyección*.[14]

El problema queda resuelto cuando las coordenadas rectangulares del plano, x e y, se expresan en función de las coordenadas geográficas, M (longitud) y L (latitud), del elipsoide, mediante unas ciertas funciones:

$$x = f\,(\mathrm{L},\ \mathrm{M}) \qquad y = g(\mathrm{L},\ \mathrm{M})$$

e inversamente:

$$\mathrm{M} = h(x,\ y) \qquad \mathrm{L} = k(x,\ y)$$

Siendo f, g, h, k funciones continuas relativamente arbitrarias, existen infinidad de soluciones al problema de las proyecciones. Los matemáticos no se han privado de investigarlas, por lo que se conocen más de doscientas. Pero no todas tienen el mismo interés práctico, y apenas treinta de ellas son comúnmente empleadas. Para éstas últimas existen tablas, llamadas tablas de proyecciones, que sirven de referencia para la construcción sobre el plano u hoja de proyección, de una malla, es decir, de una red más o menos densa de paralelos y meridianos. Cada punto a representar puede entonces situarse por referencia a la red así trazada.

No puede hacerse una clasificación cómoda de los distintos sistemas de proyección, pues sus diversas clases se interfieren y completan ampliamente entre sí (cuadro 2). Pero es indispensable que el cartógrafo tenga una idea precisa de las características propias de cada sistema. Por ello, examinaremos sucesivamente las propiedades generales de las proyecciones, las características geométricas de los sistemas más usuales, y las condiciones para una elección razonable de una determinada proyección.

1. Procedimientos para el traslado de coordenadas sobre el plano. Propiedades generales de las proyecciones

La palabra proyección evoca la idea de traslado (o perspectiva) de un punto, A, de una superficie, observado a partir de un punto de vista, O, a otro punto, B, situado en otra superficie, llamada plano del cuadro o plano de proyección (fig. 6).

Algunas proyecciones cartográficas son verdaderas proyecciones, es decir, correspondencias geométricas que pueden obtenerse mediante una construcción perspectiva, a partir de un punto de vista convenientemente elegido. Pero otras muchas son sólo correspondencias analíticas, obtenidas mediante el cálculo, entre los puntos del elipsoide (o de una esfera intermedia) y los de la superficie de proyección. Basta para esto que existan, entre la malla geográfica del mapa y la red de coordenadas del elipsoide, las relaciones anteriormente mencionadas, tales que cada uno de los puntos del plano represente uno de los puntos de la superficie proyectada, y sólo uno. Se llama *centro de proyección* al punto, o línea (a veces incluso dos líneas), que representan sobre el plano el contacto de la superficie de proyección con la esfera proyectada (C en la fig. 6). Las dimensiones del centro de proyección son, en la relación de la escala, las mismas sobre el plano y sobre la esfera.

A) *Deformaciones*

Puesto que ni el elipsoide ni la esfera son superficies desarrollables, es imposible trasladar ambas superficies sobre un plano sin deformarlas o alterarlas. Las deformaciones se manifiestan sobre las distancias, las superficies o los ángulos, y su eliminación simultánea en estos tres campos es incompatible. Según el sistema elegido, la

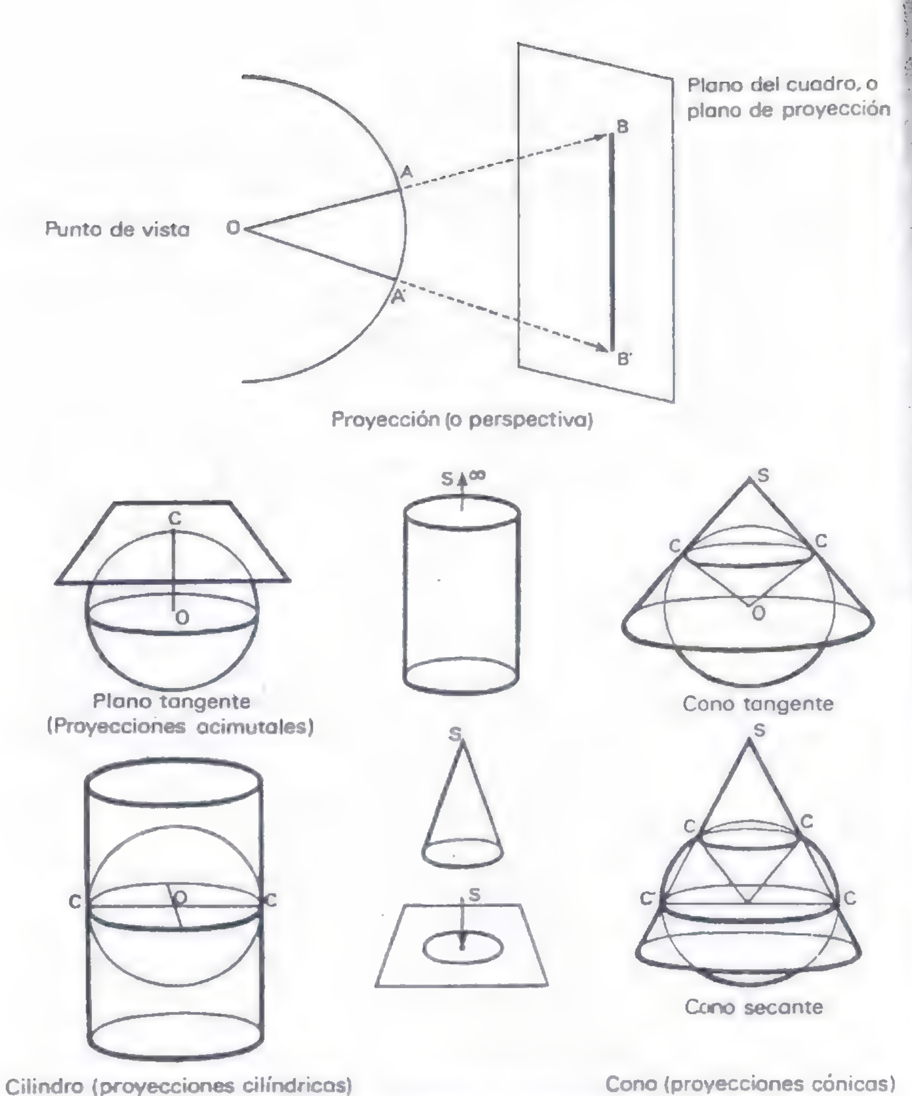


FIG. 6. — *Superficies de proyección*
O: centro de la Tierra; S: vértice del cono de proyección; C: centro de proyección

proyección permite conservar eventualmente una de las propiedades de la superficie proyectada, pero en detrimento de las otras.

Las *proyecciones conformes* conservan el transporte local de forma entre las figuras de la superficie de proyección y las de la esfera. Para que una proyección sea conforme, es necesario que las deformaciones angulares sean nulas. Por tanto, los meridianos y los paralelos deben cortarse perpendicularmente sobre el plano, como ocurre sobre la esfera con los arcos de círculo correspondientes. La red de coordenadas esféricas se transfiere al plano mediante un sistema de trapecios curvilíneos o rectángulos, de altura creciente con la latitud, según la relación llamada "de las latitudes crecientes":

$$\Delta y = \frac{\Delta L}{\cos L}$$

Por otra parte, es necesario que la razón entre las distancias, es decir la escala, sea la misma para cada punto en todas las direcciones posibles, lo que exige que varíe constantemente de un punto a otro. Si se cumplen estas condiciones, toda figura de la esfera estará representada sobre el plano por una figura plana semejante.

Las *proyecciones equivalentes* conservan las relaciones de superficie. Para que una proyección sea equivalente, es necesario que la razón entre un área, S', medida sobre el mapa y su correspondiente, S, medida sobre la esfera, sea la misma en cada punto del campo de la proyección:

$$\frac{S'}{S} = \text{constante}$$

Estas condiciones se cumplen cuando la superficie de cada una de las cuadrículas, sobre el plano, equivale, de acuerdo con la escala, a la superficie de la cuadrícula correspondiente, sobre la esfera. Pero, contrariamente a lo que ocurre para las proyecciones conformes, en las equivalentes la razón entre las distancias varía en el entorno de cada punto, según las direcciones.

Ninguna proyección puede ser a la vez conforme y equivalente. Pero existen proyecciones que no son ni conformes ni equivalentes. Esta categoría se designa normalmente con el nombre de *proyeccio-*

nes afilácticas, o cualesquiera. Entre ellas, suelen distinguirse las *proyecciones equidistantes*, para las cuales la separación, a escala, entre paralelos es constante en todo el campo de la proyección. Si, además, los paralelos y meridianos son ortogonales, las distancias se conservan sobre estos últimos.

B) *Superficies de proyección*

La superficie sobre la que se efectúa la proyección puede ser un plano o una superficie desarrollable, cilindro o cono, que luego se corta a lo largo de una generatriz y se desarrolla sobre un plano. Se distinguen así (fig. 6):

— las *proyecciones acimutales* o *cenitales*, sobre un plano tangente a la esfera en un punto, que es el centro de proyección;
— las *proyecciones cilíndricas*, sobre un cilindro tangente a la esfera a lo largo de una circunferencia máxima. Esta circunferencia constituye entonces el centro de proyección;
— las *proyecciones cónicas*, sobre un cono tangente o secante a la esfera según uno o dos paralelos, que constituyen el centro de proyección.

Para subrayar la estrecha relación que existe entre estas tres clases de proyección, puede considerarse que la cónica es el caso general, y las otras dos los casos extremos. En las cilíndricas, el vértice del cono (S en la fig. 6) está en el infinito; en las acimutales, el vértice del cono está sobre la superficie de la esfera, en el centro de proyección.

C) *Diversas variantes de un mismo sistema*

Dependiendo de la situación que ocupe sobre el globo la zona a representar, conviene siempre aplicar la superficie de proyección sobre la esfera de modo que el traslado de puntos de una a otra se haga con el mínimo posible de deformaciones. El centro de proyección

debe por ello situarse, en principio, próximo al centro de la región considerada. Desde este punto de vista, cada sistema de proyección puede clasificarse en una de las tres variedades siguientes (fig. 7):

Si la superficie de proyección está centrada en un polo de la esfera, o en el Ecuador, o sobre un paralelo, se dice que la proyección es *polar*, *ecuatorial*, o *directa*, respectivamente.

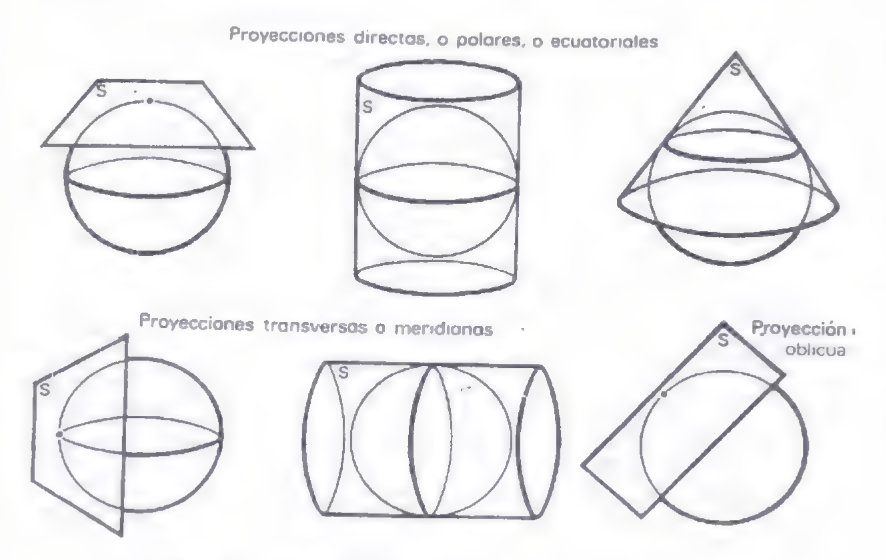


Fig. 7. — *Diversas variantes de un mismo sistema*
(Variantes más empleadas. S = superficie de proyección)

Si la superficie de proyección está centrada en un punto del Ecuador, o sobre un meridiano, se dice que la proyección es *transversa* o *meridiana*, respectivamente. Si la superficie de proyección está centrada sobre un punto, o sobre una circunferencia de la esfera, elegidos arbitrariamente, se dice que la proyección es *oblicua*.

No debe olvidarse que, en cada sistema de proyección, las propiedades generales se conservan, sea cual sea la variante considerada. Así, una proyección directa conforme o equivalente sigue siéndolo en sus modalidades transversa y oblicua.

D) *Proyecciones perspectivas*

En las proyecciones perspectivas, las propiedades de la cuadrícula dependen de las posiciones relativas de la superficie de proyección y del punto de vista, origen de la perspectiva. Este último está siempre situado sobre una perpendicular a la superficie de proyección, levantada en el centro de proyección. De hecho, las únicas proyecciones perspectivas utilizadas normalmente son las azimutales (fig. 9).

2. Características geométricas de los principales sistemas de proyección

A) *Proyecciones sobre un plano*

1. *Mapas planos.* — El traslado directo sobre un plano de las direcciones y distancias observadas sobre la Tierra es, sin lugar a dudas, la forma más antigua de las proyecciones. Éste era, como se ha visto, el método utilizado en los mapas antiguos en coordenadas rectangulares, o "mapas planos" (fig. 8) siguientes:

- *mapas planos cuadrados*, de los que se conocen los de Hecateo, Dicearco, Eratóstenes. En ellos, los meridianos y paralelos son ortogonales y equidistantes;
- *mapas planos paralelogramáticos*, o *rectangulares*, ideados por Hiparco, en los cuales el intervalo entre paralelos está calculado de modo que se conserve, a lo largo de un paralelo elegido (L_0), la misma escala que sobre los meridianos.

El mismo método se siguió en los portulanos, construcciones apoyadas sobre la línea de fe del Norte magnético. Aún hoy, los geómetras y los exploradores se conforman a menudo con transcribir sus medidas sobre una simple malla rectangular, llamada *proyección sobre el plano tangente*. Siempre que el centro de proyección esté bien elegido (como lo hizo Dicearco al intersectar en Rodas el "diafragma" y la "perpendicular"), y la superficie tratada no sea demasiado extensa, el sistema es aceptablemente válido. El

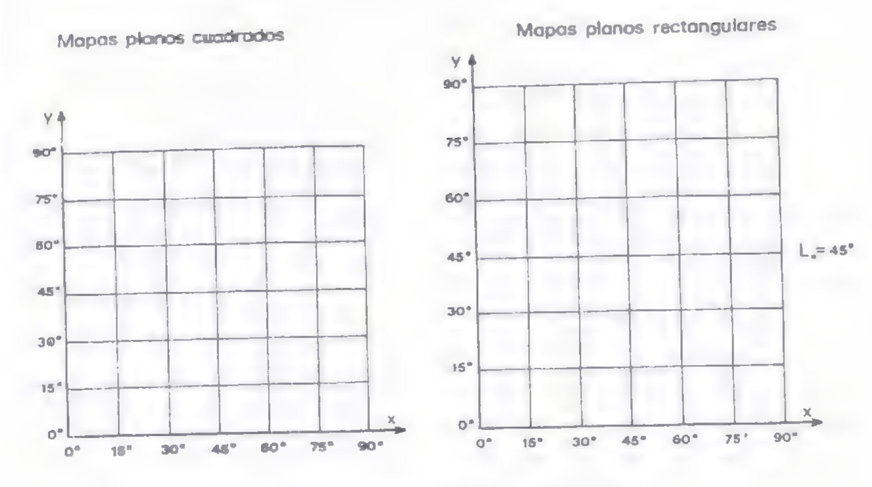


Fig. 8. — *Sistema de los mapas planos*

desarrollo matemático de estos cuadriculados empíricos, que conservan las relaciones de forma, conduce a las proyecciones cilíndricas conformes, de las que la más famosa es la de Mercator.

2. *Proyecciones azimutales*, o *cenitales*. — Las proyecciones perspectivas sobre un plano tangente a la esfera, llamadas *proyecciones azimutales*, o *cenitales*, tienen en común las notables propiedades siguientes:

- conservan los azimutes en todas las direcciones iniciadas en el centro de proyección.
- conservan las distancias medidas a partir de dicho centro.

Las proyecciones azimutales más utilizadas, tanto en su variante directa, o polar, como en las meridiana y oblicua, son las siguientes:

La *proyección central*, o *gnomónica*, que está construida a partir de un punto de vista situado en el centro de la Tierra (fig. 9). Por tanto, los extremos de los diámetros paralelos al plano de proyección se proyectan en el infinito y no es posible la representación de un hemisferio entero. La proyección gnomónica es una proyección cualquiera (afiláctica) que no conserva ni los ángulos ni las superficies. Su propiedad esencial es que todo círculo

máximo de la esfera (ortodrómica) se proyecta en el plano según una recta; y que, inversamente, toda recta del plano es una ortodrómica; de ahí su gran interés en la navegación aérea y marítima. Pero las deformaciones aumentan rápidamente al alejarse del centro de proyección, lo que restringe su empleo a una zona próxima a este centro, normalmente el polo.

La *proyección estereográfica* es una de las más antiguas conocidas (Hiparco). El punto de vista es diametralmente opuesto al centro de proyección (fig. 9), de modo que se puede representar teóricamente un hemisferio entero, e incluso un poco más. Pero, en la práctica, esta posibilidad se reduce solamente a algunos grados más allá del círculo máximo paralelo al plano de proyección. La proyección estereográfica es una proyección conforme; la escala se mantiene constante alrededor de un punto, y a lo largo de cualquier círculo que tenga por centro el de proyección. Cualquier círculo de la esfera se representa mediante otro círculo, y una ruta que corte a los meridianos bajo un ángulo constante (loxodrómica) viene representada por una espiral logarítmica. En su variante directa, la proyección estereográfica es muy utilizada en la cartografía de regiones polares y en los mapas del cielo; en su variante transversa, se emplea para la construcción de mapamundis. La variante oblicua permite representar a la vez, en un mismo hemisferio, las bajas latitudes y las regiones próximas a uno de los polos.

La *proyección ortográfica* es tan antigua, al menos, como la estereográfica (Hiparco). El punto de vista se encuentra en el infinito (fig. 9), por lo que el campo máximo de la proyección cubre un hemisferio entero; pero esto se consigue solamente al precio de una fuerte distorsión en las regiones más alejadas del centro de proyección. La proyección ortográfica es, como la gnomónica, una proyección cualquiera (afiláctica). En su variante polar, se utiliza para la cartografía del Sol y de los planetas; pero es poco empleada en cartografía terrestre, debido a sus grandes deformaciones en los bordes. Sin embargo, en su variante transversa, ha sido utilizada algunas veces en los mapamundis de algunos viejos atlas.

La *proyección azimutal equivalente* de Lambert (siglo XVIII) es, en su variante polar, una proyección azimutal de meridianos rectilíneos y radiales. El espaciamiento de los paralelos ha sido calculado de manera que las superficies de cada cuadrícula satisfagan la condición de equivalencia. En la práctica de la construcción, los radios de los círculos paralelos son las cuerdas de las latitudes correspondientes.

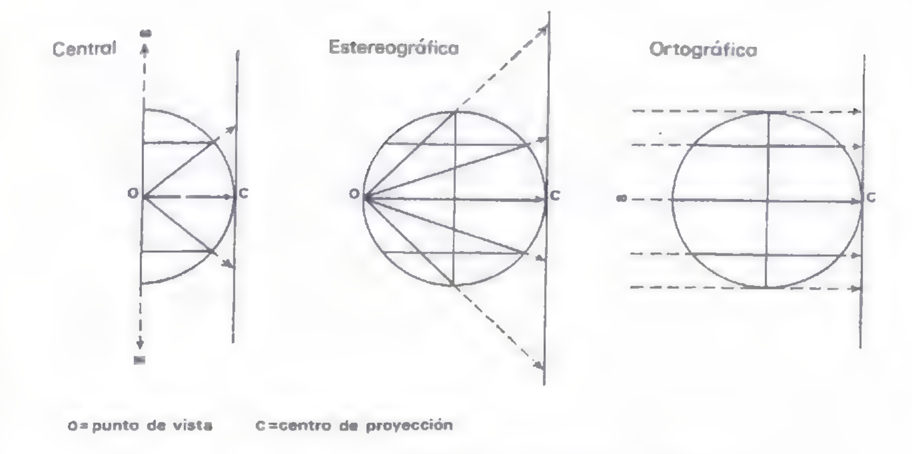


FIG. 9 — *Proyecciones perspectivas azimutales o cenitales*

La *proyección de Guillaume Postel*, o *proyección azimutal equidistante* (siglo XVI), tiene la propiedad de conservar las direcciones y distancias a partir del centro de proyección, lo que la hace muy útil en navegación. En su variante polar, es muy empleada para la representación de zonas de alta latitud; en sus variantes meridiana y oblicua, es adecuada para la construcción de mapamundis, o de mapas de países o continentes de gran extensión.

B) *Proyecciones sobre una superficie desarrollable*

1. *Proyecciones cilíndricas.* — Estas proyecciones pueden considerarse como un perfeccionamiento analítico de los mapas planos. Las más corrientes utilizan la variante directa, pero se emplea también frecuentemente la transversa, y más raramente la oblicua.

La *proyección cilíndrica perspectiva*, o *central*, consiste en el desarrollo sobre un plano de una perspectiva construida sobre un cilindro tangente al ecuador, con punto de vista en el centro de la esfera (fig. 10). La proyección es cualquiera (afiláctica), y no ofrece ningún interés práctico. Pero se presta

bien a la comprensión de algunas características comunes a todas las proyecciones cilíndricas directas:

– los meridianos se proyectan según las generatrices del cilindro de proyección, que son rectas perpendiculares al Ecuador, y se representan sobre el plano mediante rectas equidistantes:

$$\Delta x = \text{constante};$$

– los paralelos se proyectan según rectas perpendiculares a los meridianos, cuya separación crece con la latitud:

$$\Delta y = f(\mathrm{L});$$

La elección que se haga de esta función es lo que diferencia a los sistemas cilíndricos;

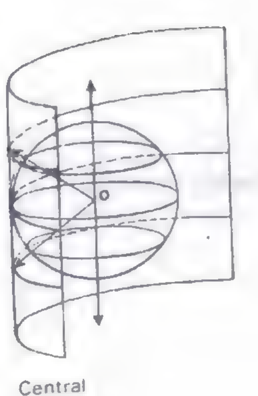
– las altas latitudes resultan así muy distendidas, y el polo, que se proyecta en el infinito, no puede ser representado.

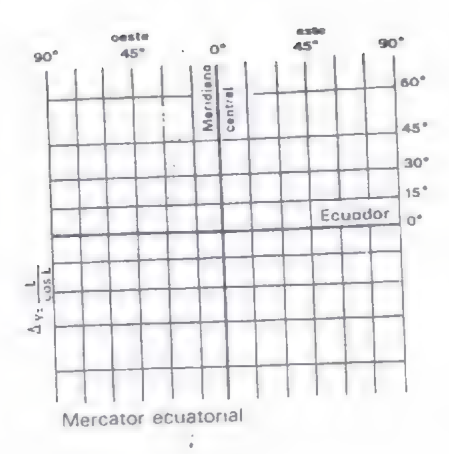
La *proyección de Mercator* se realizó en 1569. Pero las uniones de portulanos conducían ya, desde hacia tiempo, a figuras comparables. El problema era encontrar una proyección conforme sobre la cual las loxodrómicas (es decir, las rutas a seguir mediante el compás) fuesen rectas. Mercator lo resolvió compensando, para cada latitud, el alargamiento exagerado de los paralelos en el sentido Este-Oeste, por una exageración proporcional de las distancias meridianas en el sentido Sur-Norte. A esta última variable se le da el nombre de "latitud creciente", o "variable de Mercator":

$$\Delta y = \frac{\mathrm{L}}{\cos\ \mathrm{L}}$$

de donde $y = \mathrm{Log\ tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\mathrm{L}}{2}\right)$

La proyección es conforme, pero su escala, constante a lo largo de un paralelo, varía de uno a otro, y esta variación aumenta rápidamente con la latitud (fig. 10). La proyección de Mercator se utiliza sobre todo para las cartas de navegación y para algunas cartas aeronáuticas; se emplea también frecuentemente en los atlas, tanto para la construcción de planisferios (aunque las distorsiones en las altas latitudes y la falta de representación de los polos hacen que se abandone cada vez más), como para la representación de regiones intertropicales.





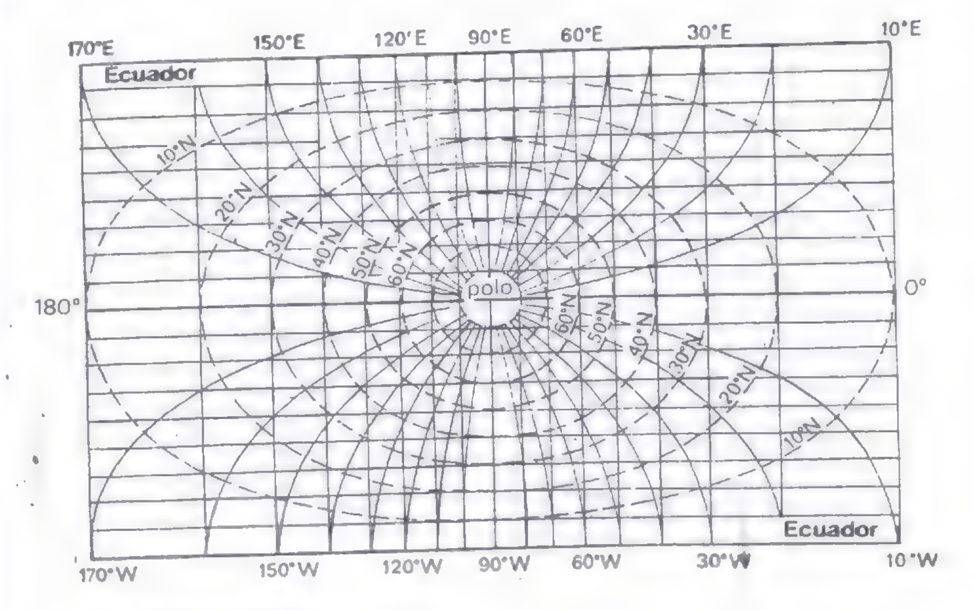


FIG. 10. – *Proyecciones cilíndricas*

La *proyección de Mercator transversa* o proyección de Gauss, o proyección cilíndrica conforme de Lambert, es conocida desde el siglo XVIII. Fue perfeccionada más tarde, para permitir el traslado de puntos sobre el plano sin utilizar un elipsoide intermedio y ha sido adoptada por numerosos países. Constituye el sistema MTU = Mercator Transversa Universal (o UTM = "Universal transverse Mercator"), muy utilizado actualmente para la cartografía a gran o media escala entre los paralelos 80° N y S. La proyección tiene por eje el meridiano central, que se proyecta según una recta en el plano; el Ecuador es otra recta, perpendicular a la anterior; los demás paralelos y meridianos son curvas trascendentes, ortogonales entre sí (fig. 10). La proyección transversa de Mercator se emplea también en los atlas, para la representación de zonas de latitudes medias.

La *proyección cilíndrica equivalente* de Lambert (siglo XVIII) es poco utilizada, debido a las enormes deformaciones que produce en los bordes; sólo es válida en las proximidades del centro de proyección. Los meridianos son rectas paralelas equidistantes, y los paralelos rectas perpendiculares, cuya separación es decreciente hacia los bordes:

$$X = M \qquad y = \text{sen } L$$

2. *Proyecciones cónicas.* — Las proyecciones cónicas son conocidas desde la Antigüedad (Hiparco, perfeccionado por Ptolomeo). Pero sólo a partir del siglo XVIII se emplearon en su forma moderna, definida analíticamente. Por otra parte, se utilizan casi exclusivamente en su variante directa, aunque también existen la transversa y la oblicua.

La *proyección cónica perspectiva*, o *central*, es el desarrollo sobre un plano de una perspectiva construida sobre un cono tangente o secante, con punto de vista en el centro de la esfera. La proyección es cualquiera (afiláctica), y no tiene gran interés práctico. Pero, como en el caso de la proyección cilíndrica central, permite comprender algunas características comunes a todas las proyecciones cónicas directas (fig. 11):

- los meridianos se proyectan según rectas concurrentes, con ángulos de convergencia, $\hat{\alpha}$, proporcionales a las longitudes, M:

$$\hat{\alpha} = nM;$$

- los paralelos son arcos de círculo concéntricos, cuyo radio, r, es función de la latitud L:

$$r = f(L);$$

- según que el cono sea tangente o secante a la esfera, existen uno o dos paralelos (L_0, o L_1 y L_2) sobre los que la escala se conserva, denominados paralelos "origen", o "standard", o bien "paralelos de contacto";
- el polo puede estar representado en el vértice del cono desarrollado.

Las diferencias entre los sistemas cónicos dependen de la elección que se haga de estas variables. De todos modos, las bajas latitudes resultan muy distendidas, y las deformaciones aumentan rápidamente al alejarse de los paralelos de contacto.

La *proyección cónica simple* ha sido vulgarizada por la obra de Ptolomeo. Los meridianos son rectas concurrentes, siendo su convergencia:

$$\hat{\alpha} = M \text{ sen } L_0$$

Los paralelos son arcos de círculo concéntricos y equidistantes, de modo que se conserven sus equidistancias reales, en el sentido de los meridianos, a partir del paralelo de contacto:

$$\Delta r = \text{constante}$$

La proyección es equidistante. Pero el polo, por no ser el centro de los círculos concéntricos, está representado por un pequeño arco de círculo (fig. 11); la proyección es, en realidad, troncocónica. Además, la escala es demasiado grande sobre todos aquellos paralelos que no sean el de contacto. Esta proyección es utilizada frecuentemente en los atlas, para la representación de zonas poco extendidas en latitud, y situadas en las proximidades del origen. Puede mejorarse encuadrando la región a cartografiar entre dos paralelos de contacto, denominándose en este caso *proyección secante de dos paralelos standard.*

La *proyección cónica conforme* de Lambert (siglo XVIII), sobre cono tangente o secante, conduce a una red de meridianos rectilíneos concurrentes, y paralelos en arcos de círculo concéntricos. Los radios de estos arcos se fijan de modo que aseguren la condición de conformidad (fig. 11). Su centro común es la imagen del polo y, por tanto, el punto de convergencia de los meridianos. La escala se conserva a lo largo del paralelo tangente, L_0, y de los paralelos secantes, L_1 y L_2; pero aumenta rápidamente a ambos lados de estas líneas, *manteniéndose constante, sin embargo, a lo largo de cada paralelo.* Por esta razón suele preferirse, para mapas a gran escala, el cono secante cuyos paralelos de contacto encuadran una zona de deforma-

r = f(L)
Globo
Papel
central

simple
(de Ptolomeo)

cónica conforme de Lambert

cuadrículo de Bonne

Fig. 11. — *Proyecciones cónicas*

ción mínima. La proyección conforme de Lambert, adoptada por el ejército por resultar cómoda en el tiro de artillería, ha llegado a ser la base de la cartografía francesa a gran escala.

La *proyección cónica equivalente* de Lambert (siglo XVIII) presenta una infinidad de casos posibles, comprendidos entre la proyección cilíndrica equivalente, por un lado, y la proyección azimutal equivalente, por otro. Los meridianos son rectas concurrentes, y los paralelos arcos concéntricos, con radios que aseguran la condición de equivalencia.

La *proyección de Bonne*, conocida desde el siglo XVI, fue definida matemáticamente en el XVIII. Es conocida sobre todo por su empleo en el mapa de Francia a 1:80.000, llamado del Estado Mayor. No es exactamente una proyección cónica, puesto que los meridianos no son rectas concurrentes, pero se aproxima a ella, por ser los paralelos arcos de círculos concéntricos. El centro de estos arcos está situado en uno de los extremos de un segmento de recta que representa el meridiano central, desarrollado en su verdadera magnitud a la escala del mapa; los restantes meridianos son curvas trascendentes, que cortan a los paralelos a intervalos que se corresponden con los intervalos homólogos de la esfera. El centro de proyección está en la intersección del meridiano central y de un paralelo, L_0, tomado como origen, de radio $r = \text{cotg } L_0$. Por tanto, los arcos de longitud y latitud son siempre proporcionales a los de la esfera, y la proyección es equivalente. La escala se conserva a lo largo de los paralelos y del meridiano central. El conjunto de la proyección se desarrolla en forma de abanico (fig. 11), como ya había propuesto Ptolomeo. Las deformaciones de ángulos y distancias aumentan rápidamente al alejarse del meridiano central o del paralelo origen, por lo que esta proyección sólo se utiliza en regiones limitadas cuya latitud sea próxima a la del centro de proyección.

C) *Proyecciones del mundo entero*

Ninguna de las proyecciones precedentes permite una representación completa de la Tierra sobre un solo mapa (planisferio). O bien faltan los polos, o bien las bajas latitudes. Por ello, se han ideado otros sistemas de proyección que responden mejor a esta necesidad. Su número es excesivamente elevado,[15] por lo que nos referiremos sólo a los más utilizados, que son los siguientes:

La *proyección sinusoidal*, de Sanson, o de Flamsteed (siglos XVI-XVIII), que es la versión meridiana de la proyección de Bonne. Los paralelos son rectas paralelas equidistantes, divididas en partes iguales por los meridianos. Esta proyección es muy empleada en la representación de husos de pequeña amplitud y, como consecuencia, en la construcción de globos terráqueos.

La *proyección de Mollweide* es utilizada normalmente en los atlas modernos para construir planisferios equivalentes (fig. 12). El meridiano central es un segmento de recta, PP', perpendicular en su centro, O, al Ecuador; éste, formado a su vez por otro segmento de recta, EE', de longitud doble, está dividido en partes iguales por los meridianos, que son semielipses, uno de cuyos ejes es PP'. Los paralelos son rectas paralelas al Ecuador y espaciadas de modo que se cumpla la condición de equivalencia. El hemisferio cuyo polo es O está inscrito en un círculo de centro O y de diámetro PP'.

Puede citarse también la *proyección de Ortelius*, o de Eckert III, conocida desde el siglo XVI; o la *proyección de Eckert IV* (1906), que es equivalente; o la *proyección "Atlantis" de Bartholomew*, que es una proyección de Mollweide transversa, cuyo eje es un meridiano; etc.

Pero, cualquiera que sea el sistema adoptado, el mayor inconveniente es siempre el aumento de las deformaciones al alejarse del centro, o de ciertas regiones privilegiadas. Para reducirlo al mínimo, cuando se trata de grandes superficies o se pretende una gran precisión, suele fragmentarse el campo de proyección de diversos modos. Por ejemplo, se representa la Tierra entera en forma de mapamundis, compuestos por dos hemisferios acolados. A estos fines, las proyecciones más empleadas son la ortográfica meridiana, la estereográfica meridiana u oblicua, y la de Guillaume Postel, en sus tres variantes.

En los atlas modernos, se prefiere frecuentemente a los mapamundis las *proyecciones interrumpidas*, centradas sobre los continentes o sobre los océanos, según las necesidades del mapa. La *proyección de Goode*, por ejemplo (fig. 12), está formada por la yuxtaposición de fragmentos de la de Mollweide. En las *proyecciones en estrella* (fig. 12), el hemisferio Norte se presenta en proyección polar (de Guillaume Postel, por ejemplo), y el hemisferio sur está desarrollado en varios brazos de estrella que parten del Ecuador.

Para los mapas a gran escala de regiones extensas, se puede reducir la proyección a un campo que cubra solamente la extensión de una hoja, o de

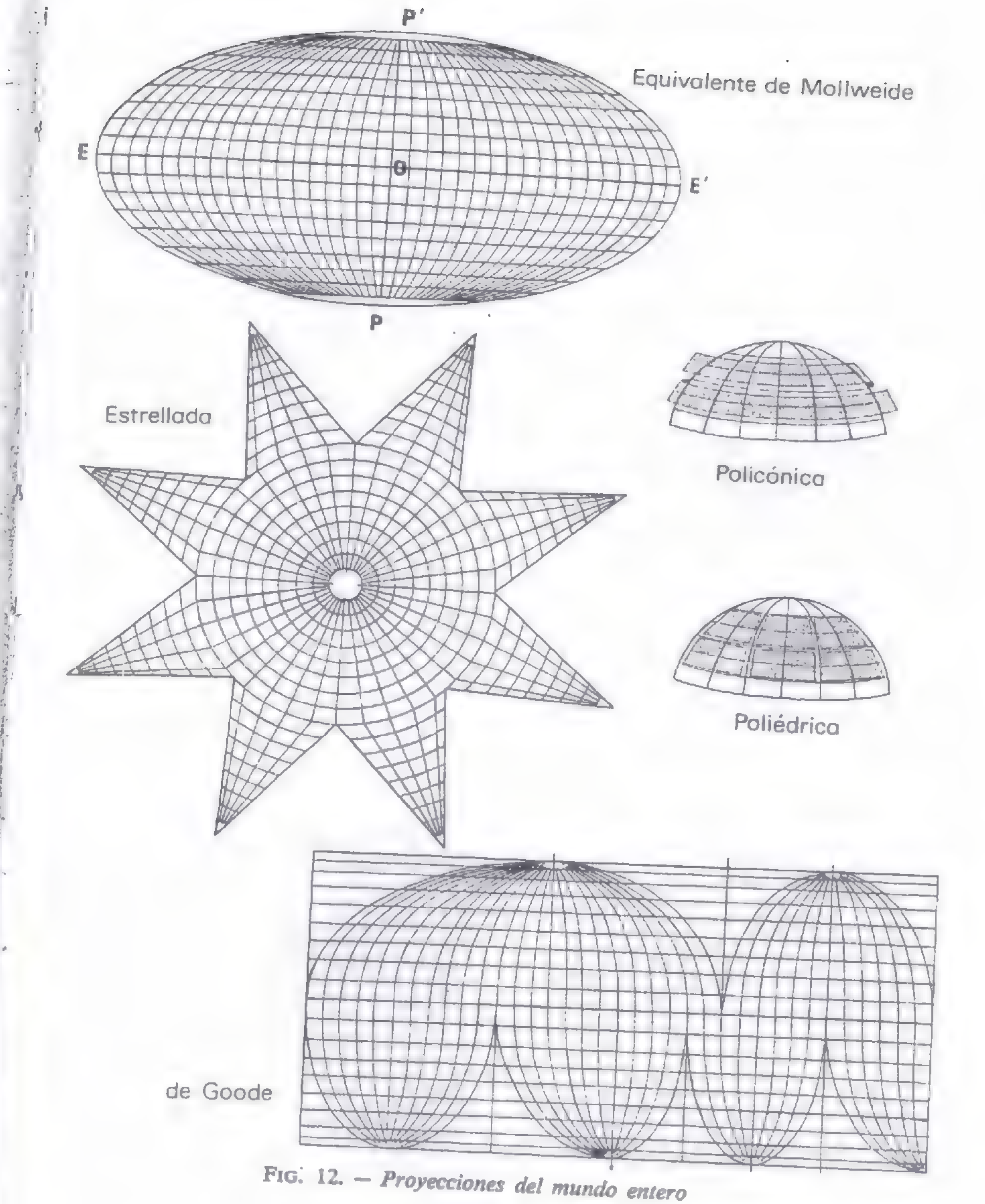


FIG. 12. — *Proyecciones del mundo entero*

un número reducido de hojas, del mapa. Para ello suele recurrirse a los dos sistemas siguientes:

Las *proyecciones poliédricas*, donde el campo está limitado a un trapecio plano cuyos lados son proporcionados a los del trapecio esférico (o elipsóidico) correspondiente. Estos trapecios planos envuelven a la esfera, formando un poliedro de múltiples caras. Las deformaciones de ángulos y distancias son entonces muy sensibles, sobre todo en las direcciones oblicuas al recuadro. Además, cada hoja sólo puede unirse a las colindantes, lo que impide el uso cómodo del conjunto del mapa.

Las *proyecciones policónicas*, en las que la superficie de proyección está constituida por *n* troncos de cono de pequeña altura, tangentes cada uno a lo largo de un paralelo origen. La proyección del Mapa del Mundo a 1:1.000.000, concebida en 1900 y modificada en 1928, es una versión interesante de este sistema. Cada hemisferio está dividido en un casquete polar de 2° de radio, y 22 zonas de 4° de latitud; cada zona está dividida a su vez en 60 trapecios de 6° de longitud, que constituyen otras hojas del mapa, tratadas por separado. Los paralelos límites son arcos de círculo, de radio $r = N \cot g\ L$ (siendo N la gran normal al elipsoide para la latitud L), y divididos en grados, según la escala. Los meridianos son rectas que unen estos puntos de división; dos de ellos, situados a 2° al W y al E del meridiano central, se desarrollan en su verdadera magnitud, y se subdividen en grados, por cuyas divisiones pasan los otros paralelos. De este modo, el error de escala queda reducido al mínimo. Pero el ensamblaje de las hojas no es mejor que en los mapas poliédricos.

3. Elección de un sistema de proyección

La elección del sistema de proyección más conveniente para un mapa determinado es una decisión difícil, que depende de varias variables. A decir verdad, y dejando aparte a los servicios topográficos y a los redactores de atlas, es bastante raro que los cartógrafos tengan que construir ellos mismos la red de coordenadas de la proyección; en general, recurren a las tablas de obras especializadas; y normalmente se contentan con elegir como fondo un mapa básico, entre los topográficos, corográficos, y atlas disponibles. Pero, al menos,

Cuadro 2. – *Principales sistemas de proyección*

Proyecciones	*Características principales*	*Aplicaciones*
Conformes:		
Mapas planos	Coordenadas rectangulares equidistantes	Antigüedad. Planos
Estereográfica	Todo círculo de la esfera se proyecta según otro círculo. Escala constante sobre todos los círculos que tienen por centro el centro de proyección.	Regiones polares. Mapamundis. Cielo
Mercator	Coordenadas rectangulares. Paralelos más espaciados, para latitudes crecientes. Escala variable con la latitud. Las loxodrómicas se proyectan según rectas	Cartas náuticas. Planisferios. Bajas latitudes
Mercator transversa (MTU = UTM)	Coordenadas en curvas trascendentes ortogonales. El Ecuador y el meridiano central son rectas perpendiculares	Latitudes medias
Cónica de Lambert (tangente o secante)	Meridianos rectilíneos concurrentes. Paralelos concéntricos. Escala invariable sobre el (o los) paralelo tangente	Mapas a gran escala. Latitudes medias
Equivalentes:		
Acimutal polar de Lambert	Meridianos rectilíneos, concurrentes en el polo. Paralelos concéntricos, con radios iguales a las cuerdas de las latitudes correspondientes	Regiones polares Hemisferio Norte
Cónica de Lambert	Meridianos rectilíneos concurrentes. Paralelos concéntricos	Mapas regionales
Bonne	Paralelos concéntricos equidistantes. Los meridianos se proyectan según curvas trascendentes	Mapa de Francia a 1:80.000
Mollweide	El Ecuador y el meridiano central son rectas perpendiculares. Los paralelos son rectas paralelas al Ecuador. Los meridianos se proyectan según elipses	Planisferios
Afilácticas:		
Gnomónica	Toda ortodrómica se proyecta según una recta	Navegación
Ortográfica	Polar: meridianos concurrentes y paralelos concéntricos Transversa: los meridianos se proyectan según elipses, y los paralelos según rectas paralelas al Ecuador	Sol, planetas Mapamundis de los atlas antiguos
Guillaume Postel	Equidistante a partir del centro de proyección. Los ejes de coordenadas se proyectan según curvas	Navegación Mapamundis

deben ser capaces de identificar el sistema cuyas propiedades convienen más a sus necesidades.

Reconocer una proyección no es fácil, ya que no está generalizado el hábito de indicar su nombre y características a pie de mapa. Para ello es necesario proceder a un minucioso análisis de su cuadriculado geográfico: forma y separación de los meridianos y paralelos, radios de los círculos y posición de los centros, ángulos y puntos de convergencia, etc. Existen también claves que facilitan la identificación.[16] Pero, pese a todo, muchas veces subsiste la incertidumbre, o se producen confusiones, sobre todo cuando el campo de proyección es restringido. Para grandes escalas y pequeñas extensiones, la elección de la proyección es bastante indiferente; basta generalmente con atenerse a los mapas locales, o a sus derivados. Pero el problema se presenta cuando se trata de mapas a pequeña escala, particularmente en mapas del mundo entero.

En este caso, la elección está condicionada sobre todo por el uso que va a hacerse del mapa, y puede basarse en las cualidades reseñadas en el cuadro adjunto (cuadro 2). Si sobre el mapa deben efectuarse medidas o comparaciones de superficies, se utilizará con preferencia una proyección equivalente, aunque las deformaciones marginales sean a menudo un inconveniente superior a las ventajas que esta proyección ofrece. Si el mapa debe servir para contrastar formas o medir ángulos, será mejor elegir una proyección conforme. La navegación marítima y la aérea plantean otras exigencias que, además, son diferentes para cada una. Una loxodrómica (línea que corta a los meridianos bajo un ángulo constante) es cómoda de trazar en la proyección de Mercator, lo mismo que una ortodrómica (arco de un círculo máximo) en proyección gnomónica; pero la navegación a la vista o la radionavegación, la navegación en regiones polares o en las ecuatoriales, no requieren los mismos documentos. Incluso la configuración de los países a representar, su alargamiento en el sentido de la longitud o de la latitud, y su posición sobre el elipsoide, son también factores a tener en cuenta, si se quiere llegar a una elección razonable. La teoría determina para ello reglas que sería demasiado extenso exponer aquí.

El cartógrafo, aun cuando no intervenga él mismo en la construcción de la proyección, no puede dejar de preocuparse de este tema. Debe saber en todo caso que, entre mapas que hayan sido construidos en distintos sistemas de proyección, aunque tengan la misma escala, no es posible efectuar ninguna comparación, ninguna medida común, ninguna unión, ninguna superposición.

III. TEORÍA DE LA IMAGEN. LAS VARIABLES VISUALES Y SUS PROPIEDADES

La expresión cartográfica resulta de la producción sucesiva o simultánea de imágenes significativas. El lector percibe cada una de estas imágenes en un instante, y las agrupa cerebralmente en un conjunto coordinado, lo que le permite comprender el mensaje enunciado. En la medida en que la cartografía puede ser considerada como un lenguaje, podría compararse cada imagen con las palabras de la frase hablada, formadas ellas mismas por letras, que equivaldrían en nuestro caso a los signos y símbolos. Las imágenes se combinan en la mente del lector, como las palabras en la frase, formando una serie lógica e inteligible, que es como la gramática del lenguaje cartográfico, y con un cierto estilo, que estriba en la claridad y elegancia de la presentación.

Conocer las propiedades de este lenguaje cartográfico, para utilizarlo mejor, es el objeto de la *semiología*.[17] Pero además es necesario saber formularlo; es decir, concebir, redactar y difundir el documento. Y, por fin, saber comprenderlo; o sea, percibir, leer e interpretar correctamente la lección que contiene. Examinaremos aquí las cualidades intrínsecas de la imagen cartográfica y los medios para su transmisión. Veremos después cuál es el simbolismo propio de la cartografía. En los capítulos siguientes, se tratará sobre el empleo específico del lenguaje cartográfico en los diversos campos de la cartografía.

1. Estructura y propiedades de la imagen cartográfica

Según J. Bertin, debe llamarse *imagen* a la "forma visual significativa perceptible en el instante mínimo de visión". Ésta es, de alguna manera, la unidad de percepción inmediata. No debe confundirse la imagen con el mapa propiamente dicho, ya que éste es una *figura* que puede componerse de una o varias imágenes.

En el caso de la cartografía, la imagen se crea y se lee en tres componentes:

Dos *componentes de localización*, o *componentes geográficas*, que ocupan dos dimensiones privilegiadas del plano: la longitud, x, y la latitud, y. La referencia visual a estas dos componentes es instantánea y simultánea, lo que permite identificar los diversos puntos del plano en situación absoluta (es decir, en posición), y en situación relativa (es decir, en distancias, direcciones y orientaciones). Se pueden también apreciar intuitivamente las dimensiones del espacio representado, en función de una escala numérica o gráfica indicada en el mapa.

Una componente de cualificación, Z, o elevación, que constituye una variable característica del lugar. Esta componente se representa sobre el plano, en posición conveniente, mediante una variable visual, o "variable retiniana", que consiste en una modulación del blanco del papel.

Así pues, es posible dibujar y percibir directamente las relaciones mutuas entre tres componentes de una información geográfica. Pero la semiología nos enseña que toda información que comporte más de tres componentes no puede ser representada en una sola imagen. Puesto que las componentes de localización se refieren sólo a las dos dimensiones del plano, deberán crearse tantas imágenes como componentes de cualificación haya. Se puede optar entonces entre dos soluciones:

- superposición de varias imágenes sobre el mismo mapa;
- yuxtaposición (o sucesión) de varios mapas, constituyendo cada uno una imagen.

Esta elección depende de diferentes criterios:

1. De la naturaleza de las preguntas que el lector hará ante la información, es decir, de la finalidad que se asigne a la composición gráfica.

Si se trata de preguntas de orden geográfico, del tipo "¿qué hay en tal sitio?", lo que se necesita es un inventario, que debe ser exhaustivo en cada lugar, aunque sea difícil de leer y de memorizar. Deberá tomarse todo el tiempo necesario para analizar completamente la información. Una construcción única, de múltiples imágenes, que utilice en un mismo entorno varias variables retinianas, puede estar entonces perfectamente justificada.

Si se trata de preguntas de orden cualitativo, del tipo "¿dónde existe tal característica?", lo que se necesita es un informe que pueda ser fácilmente registrado y retenido. Es necesario entonces producir documentos fáciles de memorizar (natural o artificialmente), aun cuando para ello fuese necesario sumar varios, con objeto de saber todo lo que ocurre en un lugar preciso. Será ventajoso en este caso construir un mapa por cada carácter, o por cada grupo de caracteres análogos o correlativos.

Si se trata, en fin, de preguntas de orden prospectivo, del tipo "¿existe relación entre tal y tal carácter?", lo que se necesita es tratar la información, es decir, ordenarla y simplificarla. Será necesario comparar las diversas distribuciones, para que se delaten entre ellas relaciones que, una vez verificadas, constituirán elementos de explicación a introducir en las investigaciones siguientes. El mapa es entonces un verdadero instrumento de experimentación, que conduce progresivamente al trazado de los contornos de zonas homogéneas. Deberá elaborarse en estos casos una colección exhaustiva de mapas simples, cuya comparación permitirá finalmente redactar un mapa de síntesis.

2. La elección depende también de los medios técnicos que tenga a su disposición el cartógrafo para redactar el mapa. El empleo de varios colores, por ejemplo, o ciertos trucos de dibujo, facilitan la superposición de caracteres, más que el uso exclusivo de la monocromía, o de grafismos demasiado prodigados.

2. Figuras cartográficas

Una figura construida según las reglas que hemos indicado es un *mapa*, en el sentido propio del término. Pero existen aún otras figu-

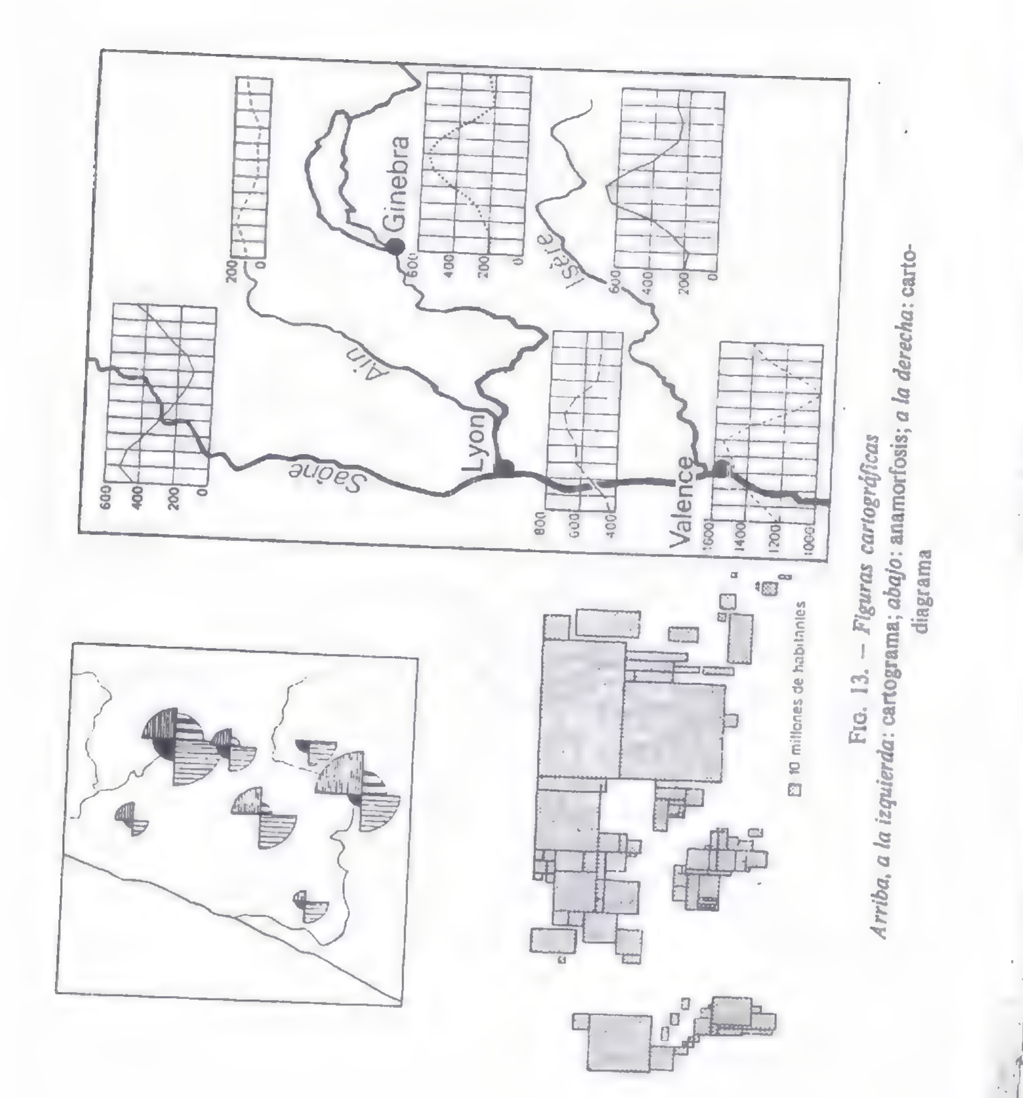


Fig. 13. – *Figuras cartográficas*
Arriba, a la izquierda: cartograma; *abajo:* anamorfosis; *a la derecha:* cartodiagrama

ras en las que las componentes geográficas ocupan dos dimensiones del plano, y sin embargo no son mapas propiamente dichos (fig. 13).

Un *cartograma* [18] es una representación discontinua de fenómenos geográficos mensurables, en forma de figuras proporcionales situadas sobre un fondo cartográfico eventualmente adaptado.

Un *cartodiagrama* está constituido por una serie de diagramas de dos componentes, situados sobre un fondo geográfico. Las componentes de localización sirven para todos los diagramas de la serie, tomados en conjunto.

Los cartogramas y cartodiagramas no se justifican más que a muy pequeña escala, y en inventarios que no conduzcan a comparaciones demasiado forzadas. Se utilizan frecuentemente en los atlas.

En las *anamorfosis geográficas*, se conserva la continuidad del espacio, pero las componentes geográficas se deforman intencionadamente, para que el dibujo traduzca las variaciones de una componente cualitativa dada. Las unidades geográficas conservan en lo posible sus posiciones relativas, pero su superficie se hace proporcional al valor del carácter considerado. Las anamorfosis subrayan fuertemente las desigualdades de la variable, pero la supresión de la constante geográfica hace a menudo delicadas las identificaciones.

3. Las variables visuales y su utilización en cartografía

Para localizar sobre un plano ordenado geográficamente un lugar determinado por sus coordenadas x, y, el cartógrafo dibuja en el entorno conveniente un símbolo figurativo visible, hecho a lápiz, acuarela, "gouache" o tinta, en negro o en color. Utiliza así dos *variables visuales*, que son las dos dimensiones del plano. Para expresar, en la tercera dimensión, las características de este lugar, o las de un objeto o un hecho situados en él, dispone de otras seis variables visuales, o *variables retinianas*, mediante las cuales modula la percepción del símbolo figurativo. Estas seis variables retinianas, que han sido muy bien analizadas por J. Bertin,[19] son: la forma, el tamaño, la orientación, el color, el valor y el grano.

El símbolo figurativo ocupa sobre la hoja de papel una superficie

más o menos extensa, según el caso. Esto es lo que se llama el *modo de implantación* del símbolo sobre el plano.

El símbolo puede ser reducido a un punto (implantación puntual); cubre entonces una superficie tan pequeña como sea posible, y puede situarse con gran precisión en una posición definida. En otras circunstancias, puede optarse por dar a este punto una superficie suficiente para dibujar un contorno significativo, geométrico o figurativo. El centro de esta figura es el que se sitúa en posición, y las características del dibujo se aplican a este centro, no a toda la superficie ocupada por el símbolo.

El símbolo figurativo puede estar constituido por una línea (implantación lineal); ocupa entonces una cierta longitud, con un espesor tan pequeño como sea posible, y puede coincidir con una dirección, un trayecto, un límite. Como en el caso puntual, puede ocurrir que ciertas circunstancias impongan la necesidad de dar a esta línea una anchura suficiente para hacerla significativa. En este caso es el eje de la figura el que se sitúa en posición, y viene caracterizada por el símbolo completo.

Finalmente, el símbolo figurativo puede extenderse sobre una *zona*, o *región* (implantación zonal). Ocupa entonces una superficie real sobre el mapa, homóloga y proporcional a la que le corresponde sobre la Tierra, en la relación dada por la escala, y los caracteres significativos que expresa se aplican a todo el espacio cubierto por el símbolo.

A) *La forma*

Sea cual sea la implantación considerada, es posible hacer variar la *forma* del símbolo de modo prácticamente ilimitado (plancha 1). El cartógrafo dispone con ello de un medio eficaz y cómodo para dar a dos localidades del plano formas idénticas o diferentes. La variación de forma permite así una cualificación precisa de los objetos y, por consiguiente, establecer relaciones de similitud entre ellos; subraya las semejanzas y facilita la identificación de los caracteres locales. Sin embargo, no es fácil la percepción visual inmediata, sobre

el mapa, de las diferencias de forma y sus agrupaciones. La variación de forma es, por tanto, un medio poco adecuado para la diferenciación y la regionalización.

B) *El tamaño, dimensión o modificación de la forma*

Un símbolo en implantación zonal tiene necesariamente la forma y el *tamaño* de la superficie que recubre; cualquier variación de su forma o tamaño significa necesariamente una variación de la forma o tamaño de la superficie representada. Sin embargo, es posible variar el tamaño de los símbolos elementales que constituyen el símbolo principal instalado sobre la zona. Del mismo modo, los signos puntuales o lineales pueden variar de tamaño sin dejar de caracterizar el punto de aplicación o el eje de la figura sobre los que están aplicados (plancha 1).

La percepción sensible viene dada por la modulación de la *superficie* del signo, que debe ser proporcional a la variable que se quiere representar. La variación de tamaño es una variable fuerte, muy perceptible, que permite una buena selección de los caracteres de los objetos; pero, naturalmente, adquiere toda su eficacia cuando esta selección se hace sobre dimensiones diferenciales. Puede representar convenientemente una distribución ordenada, pero es prácticamente el único modo de expresión posible en el caso de una comparación entre cantidades proporcionales.

C) *La orientación, o disposición del símbolo figurativo*

Es posible dar a un signo puntual *orientaciones* diferentes, aunque en número limitado, si han de distinguirse claramente. Un trazo puede ser vertical, horizontal, o inclinado hacia la derecha o hacia la izquierda; un triángulo puede tener su base arriba, abajo, a la derecha o a la izquierda; un semicírculo puede ser cóncavo o convexo, con relación a una dirección dada. La única figura no orientable es el círculo, aunque puede llegar a serlo, si se dibuja uno de sus diáme-

tros. De igual modo, una zona, o una línea suficientemente gruesa pueden ser sombreadas en diferentes sentidos, mediante líneas verticales, horizontales u oblicuas (plancha 1).

La orientación del símbolo no tiene ningún efecto especial de clasificación o de ponderación, pero constituye una buena variable selectiva, que puede utilizarse como sustitutivo del color, sobre todo en la implantación zonal. En la puntual, permite asociar fácilmente en subgrupos signos por otra parte completamente similares.

D) *El color y la tonalidad*

El color es una variable fuerte, inmediata e intensamente perceptible. Cada color puro corresponde a una estrecha banda del espectro, caracterizada por una cierta longitud de onda de las vibraciones luminosas. Al contemplar símbolos coloreados, lo primero que el ojo percibe es esta diferencia entre sus longitudes de onda y, por tanto, la diferencia de sus colores. El color es por ello una excelente variable selectiva. Pero como, instintivamente, la mente percibe igualmente bien la analogía entre símbolos de colores afines, esta variable es también muy adecuada para subrayar semejanzas y facilitar las subagrupaciones (plancha 1).

Los colores se ordenan en el espectro según las longitudes de onda crecientes, desde el violeta hasta el rojo, pasando por el azul, el verde, el amarillo y el naranja. Pero a este orden continuo de las longitudes de onda no corresponde una percepción ordenada de las tonalidades; en los dos extremos están los tonos oscuros, separados por un grupo de tonos claros, entre los que predomina el amarillo. En realidad, la secuencia del espectro combina a la vez variación de color y variación de tonalidad (véase más abajo), y es esta última la que el ojo percibe de un modo ordenado.

Se ha pensado en utilizar esta propiedad en cartografía.[20] Clasificando los colores según tonalidades crecientes (amarillo, naranja, verde, azul, rojo y violeta), se obtiene una gama única, capaz de representar aceptablemente una variable homogénea. Clasificándolos en dos series de tonalidades crecientes, a ambos lados del amarillo,

se obtiene una gama doble (gama "caliente": amarillo, naranja, rojo, rojo-violeta; gama "fría": amarillo, verde, azul, azul-violeta), capaz de representar una variable que oscila alrededor de una media, tal como la temperatura, las precipitaciones, la densidad de población, etcétera.

A pesar de estas cualidades del color, hay que reconocer que su empleo es muy delicado. Los colores demasiado próximos se diferencian mal; los pálidos, el amarillo en particular, no pueden utilizarse en la práctica para distinguir signos puntuales o lineales demasiado pequeños. De hecho, la selección visual es tanto más fácil cuanto mayor sea el signo coloreado, o cuanto más esté combinado con otras variables, como la forma y la orientación. A menudo produce confusión la aplicación de un mismo color a símbolos de dimensiones diferentes (zonas, por ejemplo, y puntos o líneas progresivamente menores o espaciadas).

Cuando la superficie del símbolo disminuye, la difusión de la luz llega a ser tal que la variación introducida por la proximidad del blanco (o de otros colores) enmascara la tonalidad; es casi imposible determinar con certeza el límite entre los colores de dos símbolos contiguos de dimensiones inferiores a 1 o 1,5 mm. Del mismo modo, un conjunto constituido por puntos de gran tamaño, o muy denso, parecerá más oscuro que otro de puntos pequeños, o más dispersos, aunque sean de tonalidad oscura. Éste es, por otra parte, el principio por el que se rige la realización de las tramas.

Sin embargo, el fenómeno de difusión permite efectuar mezclas de tonalidades, y obtener colores compuestos a partir de los básicos. Los tres colores "primarios": amarillo, azul (= cian) y rojo (= magenta), se combinan fácilmente para dar todos los colores usuales. Ésta es la base de la *tricomía*, mediante la cual se obtiene, en tres impresiones, una gama muy extensa de tonalidades. Estas gamas de referencia, llamadas *cartas de colores*, son muy utilizadas en los talleres.

E) *El valor, o tono, en el color*

Acabamos de ver que es posible utilizar el fenómeno de difusión, en un mismo color, para obtener de un mismo color tonalidades más claras o más oscuras, haciendo variar la proporción de blanco. A partir del color uniformemente extendido sobre el símbolo, al que se llama color *plano*, puede así "degradarse" o "lavar" la tonalidad, mezclando en él cada vez más blanco. Se podría igualmente "resaltar" o "subir" la tonalidad, introduciendo una cantidad creciente de negro. Se llama *valor* a esta variable, que representa la intensidad de la sensación de color, y depende de la proporción relativa que exista entre el color y el blanco, o el negro (plancha 1).

En la práctica, se utilizan dos métodos para crear una gama de valores, a partir de una tonalidad básica:

- la mezcla de colores (gouaches, acuarelas o tintas), como hacen los pintores e impresores;
- la alteración del color plano mediante *tramas* más o menos visibles a simple vista, formadas por conjuntos de líneas o puntos que ocupan una superficie determinada del papel; por ejemplo, un 10 %, 30 %, 50 %, 70 %, 90 %. Así, la gama de valores "descendentes" se obtendrá del modo siguiente: color plano/tramas de color 90 %, 70 %, 50 %, 30 %, 10 %/blanco. Y la gama "ascendente": color plano/tramas negras sobre el color plano de 10 %, 30 %, 50 %, 70 %, 90 %/negro plano.

Es posible disponer los valores de un mismo color según una progresión continua, desde el blanco hasta el negro, pasando por un valor medio, que es el correspondiente color plano, para una gama de color, y un cierto gris para las gamas en blanco y negro. También puede utilizarse solamente la parte de la gama blanco-color plano (o gris), o la parte color plano (o gris) —negro (plancha 1). Eligiendo un número adecuado de valores claramente distintos, pueden definirse tantos umbrales intermedios, o *escalones*, como sean necesarios para clasificar o subdividir la variable que se quiere representar. El tono es, por tanto, una buena variable de clasificación, que permite ordenar una serie progresiva, y también de selección, pues es apta para caracterizar los subgrupos de un conjunto. Puede también utilizarse, con mayor o menor eficacia, la noción de porcentaje que va implícita en el tono, para establecer una escala aceptable de proporcionalidad.

El uso del tono, como el del color, es delicado. Los valores débiles son difíciles de distinguir cuando les rodea el blanco, y desdibujan por ello las formas, sobre todo en símbolos de pequeñas dimensiones. Como, por otra parte, la selectividad depende esencialmente del contraste de tonos, es necesario reducir el número de escalones, tanto más cuanto más pequeños sean los símbolos. En fin, para colores claros (el amarillo, por ejemplo), el valor plano está muy próximo al blanco y no puede ser "degradado" más que en un número reducido de escalones; inversamente a lo que ocurre con los colores oscuros (rojo o violeta).

F) *El grano, estructura o "punteado" del símbolo*

Supongamos ahora que, conservando la misma proporción de blanco y de negro en la unidad de superficie, y por tanto el mismo valor, se varía el tamaño de los símbolos elementales de una trama de puntos o de líneas, mediante ampliación o reducción fotográficas, por ejemplo. La superficie entramada toma así aspectos diferentes, aun conservando la misma forma, la misma orientación, el mismo tamaño y el mismo tono en el mismo color; sólo varía la "granulometría" de la representación, es decir, el número de símbolos elementales por unidad de superficie. Del mismo modo, las figuras puntuales o lineales pueden llenarse o, por el contrario, vaciarse, aligerarse, por eliminación o aportación de blancos. Se llama *grano* a estas variaciones de la percepción visual, debidas a los cambios de estructura o de "punteado" dependiendo del número de símbolos elementales que componen la representación (plancha 1).

Como el tono, el grano constituye una buena variable de selección, capaz de diferenciar claramente los símbolos, sobre todo en la implantación zonal. Además, se presta bien a las agrupaciones por similitud. Por ello, se le utiliza para poner en evidencia fácilmente los

subgrupos, sobre todo si se asocia a otra variable, como la forma o el color. De modo secundario, puede utilizarse, como el tono, para una buena clasificación de una serie ordenada, basándose en la progresión del número de símbolos elementales.

Pero esta variable presenta también algunas dificultades: a igual granulometría, los tonos muy débiles o muy oscuros son difíciles de diferenciar; a igualdad de tono, ocurre lo mismo con las granulometrías muy finas. Puesto que el grano depende del número de símbolos elementales visibles, los granos más gruesos se adaptan mal a superficies de dimensiones demasiado reducidas.

G) *Combinaciones de variables visuales*

Cada variable visual tiene sus propiedades perceptivas, diferentes con respecto a su aplicación a las diversas relaciones lógicas que tratan de expresarse en la cartografía. Para cada problema a resolver, el cartógrafo deberá, por tanto, conformarse con las posibilidades de uso que le ofrece esta gama de variables, en cuanto al sistema de información que se intenta representar.

El cuadro de la plancha 1 resume, según J. Bertin,[21] con ligeras modificaciones, estos datos característicos del lenguaje cartográfico.

Se utilizan en él como abcisas los tres modos de implantación, y como ordenanzas, las seis variables retinianas vistas anteriormente, indicándose las relaciones lógicas que pueden representarse en cada caso, en función de las componentes del problema a tratar. Según esto, la percepción puede ser:

- *asociativa*: es decir, capaz de poner en evidencia los parecidos o semejanzas que existan entre los objetos cartografiados, de modo que se les pueda reagrupar fácilmente en un mismo conjunto; en el caso contrario, la percepción se llama *disociativa*;
- *selectiva*, es decir, capaz de poner en evidencia las diferencias existentes entre los objetos, de modo que se puedan aislar del resto los que pertenezcan a una misma categoría;

- *ordenada*, si permite clasificar los objetos en el sentido de una variación progresiva;
- *cuantitativa*, si es apta para establecer una relación numérica, o una ponderación, entre las categorías de una misma componente.

Ninguna variable posee a la vez todas las propiedades perceptivas. Todas ellas tienen sólo propiedades parciales, más o menos ventajosas, según que la percepción buscada deba ser espontánea, o resultado de un atento estudio del conjunto de signos. Nótese, por ejemplo, que el tamaño y el tono, por ser disociativas, constituyen excelentes variables de selección. La forma es, por el contrario, esencialmente asociativa. La única variable cuantitativa válida es el tamaño.

Las variables visuales se emplean aisladas normalmente, y muy raramente todas juntas. Sin embargo, en el límite, es teóricamente posible caracterizar, mediante el juego de las ocho variables visuales, ocho objetos diferentes, en un mismo punto del plano. Por ejemplo, en un mapa de industrias:

1 y 2. Longitud y latitud	2 dimensiones del plano
3. Tipo de industria: metalúrgica	color
4. Subtipo: construcciones mecánicas	tono
5. Producto: automóviles	forma
6. Categoría del producto: camiones, turismos	grano
7. Tipo de fábrica; motores, carrocería, montaje	orientación
8. Valor: importancia económica o social	tamaño

El empleo de combinaciones de variables es un problema cartográfico muy difícil de resolver, ya que, según los casos, las propiedades de cada una se atenúan o refuerzan en la combinación. De modo general, son variables fuertes las que crean la imagen. Como ha escrito J. Bertin: "Una combinación de variables tiene las propiedades de la de más alto nivel de organización definido por la tabla". Así, las propiedades disociativas del tamaño y del tono tienden a anular las propiedades asociativas de las otras variables. Ésta es una

de las razones por las que se utiliza frecuentemente más de una variable para representar una sola variación (combinación "redundante"); por ejemplo: forma + color, o tamaño + tono, para reforzar la percepción de similitudes. Cuando cada variable representa un carácter distinto, se dice que la combinación es "significativa".

4. Límites de percepción y niveles de lectura [22]

Es posible transcribir sobre la hoja de dibujo muchos tipos de información: uno, como mínimo, por cada punto del plano, y en la práctica bastantes más, sobre todo si se hace una buena elección de las variables. Sin embargo, hay límites que no deben sobrepasarse, para evitar al lector un esfuerzo de interpretación demasiado complejo, y mantener el documento en un grado razonable de legibilidad.

Por una parte, hay limitaciones que vienen impuestas por las dificultades de dibujo; es prácticamente imposible obtener una modulación cualquiera sobre puntos o trazos de espesor inferior a 0,2 mm, o distinguir dos puntos o dos trazos cuya distancia sea inferior a esta misma cantidad, o formar un ángulo inferior a medio grado sin empastarlo, o hacer converger más de ocho líneas sobre un mismo punto sin engrosarlo exageradamente.

Por otra parte, hay límites que vienen impuestos por el poder separador del ojo humano en la percepción visual. Las separaciones en el espacio condicionan la selección de los símbolos y miden la densidad gráfica por unidad de superficie; pueden ser muy pequeñas cuando se trata de signos de la misma forma, en implantación puntual sobre un mapa legible en una sola imagen, por ejemplo, sobre un mapa de población. Pero deben ser grandes en una figura que combine varias imágenes, y esto en función del tamaño de los símbolos, de su forma, de su implantación y de las variables visuales empleadas. Las separaciones sensibles, angulares o retinianas, son aún más constrictivas. Las angulares condicionan la selección de las formas; toda disminución de tamaño tiende a confundir los contornos de la forma y, en el límite, sólo son visibles el punto, el trazo y la cruz. Las separaciones retinianas condicionan la elección de los umbrales, o de

los escalones; para cada variable utilizada hay una "longitud" (o número de escalones) óptima utilizable, que depende del tamaño y del modo de implantación, de la relación cuantitativa que exista entre los extremos, de la densidad del gráfico y de la significación de los escalones.

La práctica queda pues muy retrasada con respecto a la teoría, en lo que concierne al empleo de las variables retinianas y de las imágenes. De aquí la necesidad de efectuar muchos ensayos razonados, y de la frecuente multiplicación de documentos que, de otro modo, correrían el riesgo de estar demasiado sobrecargados.

Suele ocurrir que un mapa de apariencia confusa permita, sin embargo, extraer de él imágenes muy significativas, cuando se examina con cuidado y en todos sus detalles (plancha 2). Otros combinan una percepción significativa de los detalles con la percepción igualmente significativa del conjunto, sin que se trate forzosamente de los mismos criterios en ambos casos. Por ejemplo, un mapa de población proporciona una localización precisa de cada uno de los puntos y, al mismo tiempo, una visión de conjunto de la densidad de las regiones, de sus agrupamientos y de su disposición general.

Cuando se aborda la lectura de un documento cartográfico, lo primero que interesa es la impresión de conjunto que produce la figura: su forma general, su coloración dominante, la distribución global de masas, la capacidad de sugerencia resultante de la combinación de todos los símbolos. Interesan después ciertas agrupaciones de símbolos. Finalmente, se examina por separado cada símbolo elemental. Existen, por tanto, varios *niveles de lectura* posibles, cada uno correspondiente a un grado de la escala a que se estudia el fenómeno:

El *nivel elemental*, que concierne a la observación de cada signo en particular, es un nivel de análisis. Responde a las preguntas introducidas por un solo elemento: "¿dónde?", "¿qué?", "¿cómo?"; preguntas de información pura, cuyas respuestas pueden ser aisladas y utilizadas fuera del documento. Diremos que éste es el nivel del inventario.

El *nivel de conjunto*, que concierne a la observación global de

toda la información, es un nivel de síntesis. Responde a la pregunta enunciada en el título del mapa: "¿cúal es la [repartición de la población en Francia]?", "¿cuál es el contenido específico respecto a [geomorfología] en la hoja *x* a tal escala?"; preguntas que reclaman una respuesta instantánea, simple y fácil de retener en la memoria. Diremos que éste es el nivel de la exposición, o de la comunicación.

El *nivel medio*, que concierne a la observación de las agrupaciones intermedias, es un nivel de comparación y de regionalización. Responde a todas las preguntas que pueden plantearse acerca de las relaciones existentes entre las componentes representadas por las variables; preguntas que tienden a establecer correlaciones u oposiciones, a definir zonas homogéneas, o agrupaciones características. Diremos que éste es el nivel del tratamiento de la información.

Construir un mapa es expresar gráficamente una información espacial, de manera que sea fácilmente inteligible y cómodamente transmisible. En consecuencia, esta operación no debe constituir un acto espontáneo, dejado a la libre inspiración del momento. El redactor cartógrafo debe trabajar con el objetivo de ser visual y rápidamente comprendido; debe, para ello, tener en cuenta una cierta lógica, y ciertas reglas que se derivan de las propiedades intrínsecas del lenguaje que emplea; debe prever también las reacciones que provocará su composición en el lector. Por ello, y antes incluso de cualquier ensayo de presentación, deberá preparar una lista de las preguntas a las que su mapa está calificado para responder, y tratar el dibujo en consecuencia. El primer objetivo es facilitar la memorización de los informes, lo que luego permitirá su comparación. Esto requiere una atención prioritaria a la legibilidad, a nivel de conjunto: decidir si ha de utilizarse un mapa único o mapas múltiples, (siempre en la menor cantidad posible). El segundo objetivo es atender a la precisión de las localizaciones, y a la exactitud de las correspondencias entre la realidad y el plano, a nivel elemental; en el nivel medio, debe dedicarse especial interés a las relaciones mutuas entre los diferentes símbolos figurativos, las cuales deben destacarse mediante una razonable utilización de las variables retinianas, y de sus combinaciones.

IV. EL SIMBOLISMO CARTOGRÁFICO

Los objetos materiales y los hechos o conceptos registrados en el espacio geográfico se trasladan a los mapas mediante *grafismos*, dibujos figurativos o simbólicos que responden a la aplicación directa de las variables retinianas anteriormente descritas. El uso de estos grafismos se basa en un convenio, propuesto por el redactor al lector del mapa, que puede ser implícito o estar expuesto en un cuadro de signos, o en una leyenda.

Los objetos materiales y las formas reales deben representarse por sus contornos exactos y proyectarse en su verdadera magnitud, a la escala del mapa, siempre que ésta lo permita. Así por ejemplo, en los mapas topográficos, los edificios, las vías de comunicación, los límites de municipios. Pero normalmente la escala impone una reducción de tamaño de los objetos representados que haría sus contornos poco visibles, o difícilmente identificables. En efecto: en un mapa a 1:100.000, una carretera ordinaria se representaría por un trazo de 0,1 a 0,2 mm de espesor, y una autopista de 50 m por un trazo de 0,5 mm, con lo que la diferencia entre ambas sería muy poco sensible a la vista. Es preciso, por tanto, recurrir a una representación deformada, engrosada y condicionada a los objetos vecinos. Esta misma limitación aparece cuando se trata de cartografiar un grupo de objetos en el que cada elemento es demasiado pequeño para ser dibujado individualmente: por ejemplo, una zona de dunas, o un campo de dolinas; [23] es necesario entonces recurrir a una representación de tipo colectivo. Y es aún más evidente la necesidad de una representación simbólica cuando se trata de componentes inmateriales, como una cantidad, un porcentaje, una fecha histórica, un carácter étnico o político, etc.

Se llama *símbolo* a la "representación gráfica de un objeto o de un hecho en forma evocadora, simplificada o esquematizada, sin implantación rigurosa". [24] El símbolo traduce visualmente el fenómeno representado, y puede ser más o menos figurativo o abstracto; el mejor será aquél que se reconozca fácilmente, sin necesidad de rotulación. Hay muchos símbolos de este tipo en los mapas topográficos,

bastantes de los cuales se emplean desde hace largo tiempo.[25] Pero esto no siempre es posible, ya que el significado de un símbolo, aunque sea muy reconocible, no suele ser universal, sino múltiple: una espiga de trigo, por ejemplo, puede representar un campo de este cereal tanto como una fábrica de harina o una panadería, o incluso una Caja de Ahorros. Las analogías simbólicas son, en definitiva, cuestión de costumbre y repetición, más que de semejanza. Pero, a pesar de todo, conviene utilizar símbolos claros, fáciles de leer, de dibujar y de reducir a pequeñas dimensiones. En efecto, el simbolismo cartográfico está condicionado en gran medida por la escala del mapa; las grandes escalas admiten muchas representaciones en proyección real; por el contrario, el grado de simbolismo aumenta cuando la escala disminuye, así como la imprecisión de las localizaciones: por ejemplo, una ciudad que, en un mapa topográfico, puede representarse con sus calles y bloques de edificios, se reduce a una zona o un círculo, o incluso a un simple punto, en un mapa corográfico.

Por tanto, el simbolismo cartográfico consiste en una disposición convencional de señales significativas, localizadas mediante implantación puntual, lineal o zonal. Pero no todas las variables retinianas son igualmente adecuadas para la función simbólica. La forma es una variable asociativa y, sin duda, la más apta para destacar las analogías, así como para evocar la forma real correspondiente; la variación de tamaño es el mejor símbolo de proporcionalidad; la variación de tono es el mejor símbolo de clasificación; el color, el grano y la orientación son a la vez buenos símbolos de selección y de reagrupación (plancha 1).

Por otra parte, estas modulaciones sensibles del símbolo figurativo pueden expresarse en un solo color, el negro por ejemplo; es decir, en *monocromía*, o mediante una gama más o menos completa de colores: es decir, en *policromía*. A veces se da también un valor selectivo a la rotulación, y un papel de información complementaria al conjunto de indicaciones y figuras añadidas al mapa, fuera de la superficie cartografiada. Por fin, en algunos casos, la puesta en *perspectiva* de algunos detalles permite un uso original de la tercera dimensión.

De acuerdo con las características específicas de los símbolos, pueden distinguirse en ellos[26] varias categorías (fig. 14):

– un *signo convencional* es un esquema, centrado en posición real sobre el mapa, que facilita la identificación de un objeto cuya superficie, a escala, sería demasiado pequeña para poder ser reconocido;

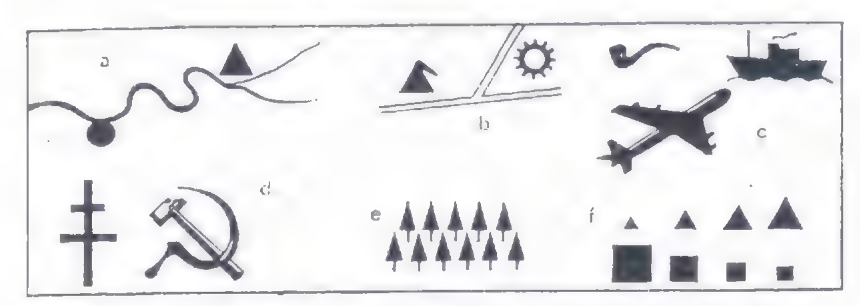


FIG. 14. – *Símbolos cartográficos*
a: signos convencionales; b: signos simbólicos; c: pictogramas; d: ideogramas; e: estarcido; f: símbolos proporcionales

– un *signo simbólico* es un símbolo evocador localizado, o cuya posición puede ser sencillamente definida;
– un *pictograma* es un símbolo fácilmente comprensible, que evoca un hecho o un objeto;
– un *ideograma* es un símbolo representativo de una idea;
– un *estarcido*, o *trama*, es una estructura constituida por repetición de un elemento gráfico, de un símbolo o de un conjunto de símbolos, sobre una superficie delimitada;
– un *símbolo proporcional* es un símbolo cuantitativo, cuya dimensión varía con la importancia del fenómeno representado.

El arte del cartógrafo consiste en elegir en cada caso el símbolo más apropiado y eficaz; en esta elección, no debe perder jamás de vista que el fin pretendido es transmitir al lector el pensamiento del autor, facilitándole la identificación de los fenómenos mediante una percepción simple, directa y sugestiva de los símbolos empleados.

A) *Puntos líneas y zonas*

Las condiciones de utilización de las variables retinianas y de su simbolismo varían según sean sus *implantaciones*. En la implantación puntual, la forma puede variar fácilmente, así como el tamaño, el color y la orientación; pero son difíciles de conseguir efectos de tono o de grano. En la implantación lineal, la forma, el tamaño y el color son también utilizables, aunque requieren un tratamiento más delicado; pero prácticamente debe excluirse el uso de otras variables. En la implantación zonal, la forma y el tamaño vienen determinados por las fórmulas de la proyección, y no puede jugarse más que con el grano, el color, el tono y, a veces, la orientación (plancha 1).

Para representar un *fenómeno puntual*, el cartógrafo utiliza puntos, o derivados del punto, que ocupan una superficie pequeña y localizable con precisión (fig. 15). Estos signos puntuales pueden tener formas diversas, apropiadas al objeto representado. Se trata generalmente de una generalización, más o menos adecuada, del elemento real; pero el único límite en la creación de estos símbolos es la capacidad de imaginación del dibujante. El punto propiamente dicho es un buen indicativo de situación, adecuado, por ejemplo, para localizar el recuento de individuos o grupos de individuos sobre un mapa de población. En los mapas topográficos, la representación en magnitud proporcional de objetos relativamente pequeños, como las edificaciones o los árboles solitarios, se reduce fácilmente a signos puntuales convencionales. Pero, con objeto de transcribir más verazmente los hechos concretos, se recurre, a veces abusivamente, a figuras imaginarias, pictogramas o ideogramas figurativos, de un esquematismo pretendidamente evocador. Este caso es frecuente en mapas industriales y turísticos.[27] En la práctica, el dibujo de estos signos es lento y difícil, y raramente resulta lo bastante significativo como para evitar la necesidad de recurrir a la rotulación. Por otra parte, no son fácilmente variables en dimensión. Es cierto que pueden inscribirse en una envoltura geométrica, lo que demuestra que, en el límite, se podría prescindir de ellos. En efecto, las figuras puramente geométricas se prestan bien al dibujo de símbolos puntuales,

ya que pueden centrarse, y variar de tamaño, de color, de grano y de orientación dentro de ciertos márgenes, lo que es suficiente en la mayoría de los casos (fig. 15):

— La familia de los círculos es fácil de dibujar y de leer, incluso cuando la figura es incompleta, por estar parcialmente oculta por otra superpuesta; el ojo estima con facilidad el centro del grafismo,

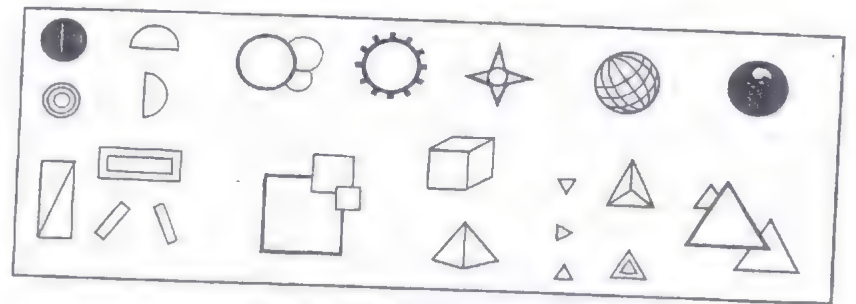


FIG. 15. *Símbolos puntuales*

lo que facilita su localización; los círculos pueden estar llenos, vacíos, reducidos a una corona circular, multiplicados en series concéntricas, o divididos en semicírculos. Hay numerosas formas derivadas: estrellas, ruedas dentadas, esferas, etc.

— La familia de los rectángulos es más difícil de dibujar, pero también fácil de leer, con la ventaja de que es más sencillo calcular en este caso las superficies proporcionales; se presta asimismo a una gran variedad de formas y a una mayor variedad de orientaciones.

— La familia de los triángulos es aún más difícil de dibujar y de medir; la gama de formas derivadas es menos extensa, y la representación en volumen menos expresiva.

— Las demás figuras geométricas deben evitarse, por ser demasiado complicadas de dibujar y calcular.

No pueden darse reglas precisas para la elección de los símbolos puntuales; hay que confiar en el uso razonado de la imaginación, te-

niendo en cuenta sobre todo las facilidades de dibujo, de legibilidad y de reducción.

Para representar un *fenómeno lineal*, de anchura despreciable con relación a su longitud (por ejemplo: un río, una cresta, una vía de comunicación, un límite, etc.), el cartógrafo dispone de líneas, muy difíciles de dibujar, sobre todo cuando son sinuosas, y muy difíciles también de modular en grano, en tono y en orientación (plancha 1). La línea pura no tiene por sí misma otra significación que la de materializar un trayecto o un límite; se emplea por ello en el trazado del recuadro y de la red de coordenadas del mapa, e incluso, dentro del campo cartografiado, en el contorno de áreas homogéneas (como un afloramiento geológico, por ejemplo) y para representar *curvas isométricas*. Se llama línea *isométrica*, a la que une un número teóricamente ilimitado de puntos cuyo valor medible es constante.[28] En la práctica, estas curvas se construyen a partir de un número limitado de puntos de valor determinado o estimado. Por esta razón suelen denominarse más bien curvas de igual valor, o *isolíneas*, puesto que unen sobre el mapa puntos en los que la variable toma valores iguales; o también *isopletas*, puesto que permiten separar zonas en las que el valor del fenómeno es constante, o está contenido dentro de los límites de un escalón. Tales son, por ejemplo, las curvas de igual altitud (curvas de nivel), de igual profundidad (isobatas), de igual temperatura (isotermas), de igual presión atmosférica (isobaras), de igual intervalo de tiempo (isocronas), etc.

Para que una línea sea significativa, debe dársele, como al punto, una forma, un espesor o un color apropiados (fig. 16). Las líneas convencionales son continuas o discontinuas (llenas y de trazos o punteadas), simples, dobles (o incluso triples), desiguales, dentadas, etc. Todas estas formas se utilizan en los mapas topográficos para representar límites administrativos, ríos, costas, carreteras, vías férreas, etc. Las líneas simbólicas se sitúan sobre el eje al que caracterizan, y algunas son más o menos figurativas, como las que definen las rupturas de pendiente, las crestas, o las escarpaduras en los mapas geomorfológicos (plancha 2).

El dibujo de líneas debe realizarse con una cierta lógica. Así, la variación del espesor, o el espaciamiento de los adornos pueden utili-

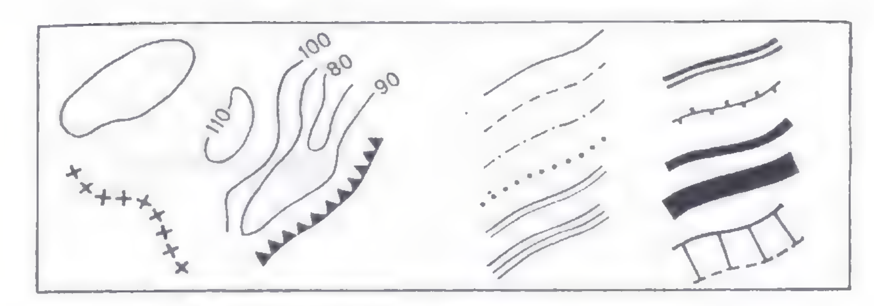


FIG. 16. — *Símbolos lineales*

zarse con éxito para representar variaciones cuantitativas correspondientes, como la intensidad de un tráfico o el valor de un desnivel. Asimismo, el dibujo de un vector orientado permite indicar un sentido de desplazamiento. La continuidad de una línea lleva consigo generalmente la idea de continuidad del fenómeno que representa, pero también la noción de importancia, de certeza, de impermeabilidad, de obstáculo. Por el contrario, su discontinuidad se asocia a destrucción, alteración, debilidad, incertidumbre, permeabilidad, etc. El cartógrafo debe saber utilizar todos estos matices.

Para representar un *fenómeno zonal*, conocido por determinados datos cualitativos o cuantitativos, el cartógrafo utiliza símbolos de extensión, aplicables sobre toda la superficie a caracterizar. Estos símbolos pueden diferenciarse fácilmente mediante el color, el tono o el grano (plancha 1). Cuando se pretende solamente diferenciar cualitativamente superficies vecinas, se utilizan generalmente tintas planas (o tramadas, o compuestas), si se trabaja en policromía; por ejemplo: los mapas "políticos" o administrativos de la mayor parte de los atlas, o los mapas geológicos. Si se trabaja en monocromía, basta con tramas constituidas por puntos o líneas regularmente espaciados, a las que se suele llamar sombreados, dispuestas eventualmente según orientaciones diferentes. Como quiera que los símbolos elementales de estos estarcidos pueden variar de forma, algunos de ellos toman el carácter de verdaderos signos convencionales, como

los que, en los mapas topográficos, representan bosques, monte bajo, viñas, o juncos; otros hacen el papel de signos simbólicos, como los que representan especies forestales en algunos mapas de ocupación del suelo, o los tipos de formaciones superficiales en los mapas geomorfológicos. Cuando se trata de introducir, por sobrecargas entre zonas vecinas, rasgos cuantitativos definidos por un cierto número de escalones, se recurre a una representación, selectiva y ordenada a la vez, constituida por tramas de valores diferentes o por sombreados de grano más o menos grueso, y convenientemente jerarquizados (fig. 17).

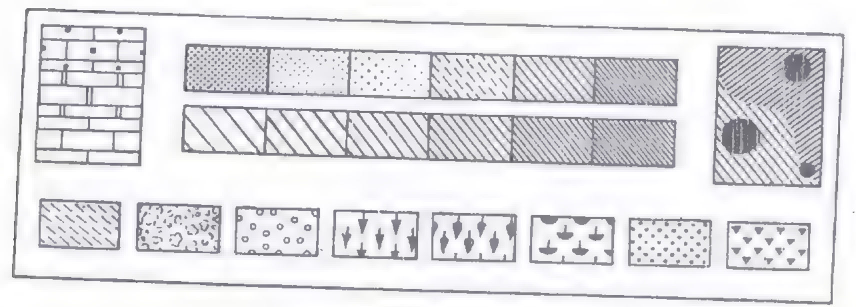


FIG. 17 Símbolos zonales

El dibujo de estas tramas especiales es siempre delicado cuando se ejecuta a mano alzada, o incluso con plantilla. Afortunadamente, existe hoy una gran variedad de "tramas prefabricadas", que basta con recortar y pegar sobre la superficie correspondiente. Cuando la zona así recubierta es lo suficientemente fina, o incluso sin grano visible a simple vista, sobre este fondo claro pueden superponerse símbolos puntuales o lineales, en un matiz más oscuro o en el color plano de la trama. Esta posibilidad facilita mucho la selección, sobre el mismo documento, de fenómenos correlativos con implantación diferente: por ejemplo, la variación (puntual) de la población de núcleos con más de 2.000 habitantes, en relación a la densidad (zonal) de población de la provincia. Sin embargo, deben observarse algunas reglas en estos casos: los efectos visuales menos acusados se reservarán, en principio, a los valores más débiles, o a los caracteres menos importantes. O bien, puede procederse a la inversa, con lo que se conseguirá un efecto de negativo que puede ser útil en algunos casos. Se sabe también que, en lo que se refiere a las variaciones ordenadas, puede utilizarse una gama única y continua o, por el contrario, una gama doble, de tono o de grano, y de graduación creciente a ambos lados de una media, hacia los extremos (fig. 17).

En la actualidad, el empleo general de símbolos prefabricados, y el desarrollo de una automatización cuya expresión-máquina es todavía limitada, hacen que los cartógrafos busquen cada vez más una cierta normalización de los símbolos. Este lenguaje común puede facilitar la difusión y comparación de los mapas en un círculo más amplio de lectores. En efecto, por todas partes se establecen convenios, cada vez más numerosos, en los diferentes campos de la cartografía; algunos, como los que rigen en los mapas topográficos y geológicos, sin ser universales, son ya antiguos y ampliamente generalizados; otros, más recientes, se refieren a los modernos tipos de mapas temáticos.[29] Esta normalización, aunque es deseable en la mayoría de los casos, no puede aplicarse de un modo general y sistemático; podría incluso producir una cierta esterilización de la expresión.[30] Pero la tendencia existe y, ciertamente, merece ser considerada.

B) *El color*

Puede abordarse el empleo del color en cualquier tipo de implantación. Sin embargo, el simbolismo del color no es evidente a primera vista.

Existen desde hace tiempo convenios que han generalizado el uso de algunos *colores significativos*, de acuerdo con las impresiones visuales que se experimentan habitualmente en la naturaleza: el azul de los mares y los ríos, el verde de los bosques, el pardo de las montañas y los continentes. Las fotografías tomadas desde satélites confirman estas elecciones ya establecidas. H. Gaussen [31] ha basado en estas analogías psicológicas una teoría sobre el empleo del color en los mapas climáticos y fitogeográficos. La gama de los azules representa

la humedad, la de los rojos el calor, la de los amarillos la sequía. En consecuencia, sus combinaciones tienen también valor significativo: el violeta, que es combinación del rojo y el azul, se utiliza para las regiones ecuatoriales, cálidas y húmedas; el anaranjado, para los desiertos calientes; el verde, para las regiones templadas. Bajo formas análogas, este método es también aplicable a mapas cuyos temas guardan alguna relación con el clima: biogeográficos, edafológicos, geomorfológicos, de ocupación del suelo, etc. No obstante, si bien la significación de los colores básicos es fácil de comprender, el simbolismo de las combinaciones, a pesar de su lógica, resulta más difícil de interpretar, y el análisis necesario para identificar sus colores componentes no es siempre cómodo.

En la mayor parte de los casos restantes, el uso del color es prácticamente arbitrario. No se emplean más que *colores indicativos*, que se asignan a un mismo conjunto de fenómenos. Su único fin es mostrar una diferencia de naturaleza entre los objetos coloreados; el color tiene entonces un carácter únicamente selectivo: simplemente, completa los datos de la forma. Importa poco que la industria metalúrgica o la textil sean representadas por el rojo o por el verde; la elección de la tonalidad se realiza atendiendo, más que nada, a la intensidad de la percepción: los colores cálidos, fuertes y vivos, subrayan los fenómenos mayores, importantes, eficaces, o aquéllos sobre los que se pretende atraer la atención; los colores fríos, débiles y pálidos, se asocian normalmente a fenómenos secundarios, prescindibles, difusos. Si se quiere añadir una impresión cuantitativa, es necesario asociar el color a otra variable, como el tamaño, o a líneas significativas, como las isolíneas, o a variaciones escalonadas de tono o de grano. Sin embargo, se adopta a veces un criterio más o menos lógico: por ejemplo, la gama rojo-violeta-azul-verde-amarillo de los mapas geológicos, que por otra parte sólo se respeta a pequeñas escalas, está ordenada en el tiempo, desde los terrenos más antiguos hasta los más recientes; del mismo modo, en los mapas geotécnicos suele asociarse, como en los semáforos, el rojo a las zonas críticas, el verde a las zonas sin problemas, y el anaranjado o el pardo a las indiferentes. En cuanto al negro y al gris, que son coloraciones neutras, no es aconsejable incluirlas en una gama coloreada.

Las ventajas del color son indiscutibles, como es bien sabido, por tratarse de una variable fuerte y muy selectiva, que refuerza la legibilidad, y resulta imprescindible en los mapas complejos. En los sintéticos, la tirada aparte de las planchas de color permite a menudo un fino análisis de los fenómenos; por ejemplo, la plancha del violeta de un mapa geomorfológico (plancha 2) se imprime para estudiar los fenómenos glaciares o periglaciares; la del verde esmeralda, para estudiar los fenómenos fluviales.[32] Lo mismo ocurre en los mapas de tipo Gaussen, o en algunos de ocupación del suelo.[33] Además, el color añade la armonía de los matices a la estética de conjunto del mapa.

Desgraciadamente, existen graves inconvenientes que desvirtúan estas ventajas. Se ha comprobado que el uso del color es difícil; exige una técnica sutil, cuyos especialistas, los cromotipógrafos, son muy buscados. Cuando se utiliza sólo en símbolos aislados, se debilita por difusión, si las superficies son demasiado pequeñas; conviene entonces contornearlo, pero esto plantea nuevos problemas de registro, a menudo molestos. Las graduaciones de tono en un mismo color (*camafeo*) y las mezclas de colores, exigen dosificaciones delicadas; lo mismo ocurre en el empleo de los colores complementarios, que se refuerzan mutuamente. Además, los colores planos superpuestos pierden su individualidad, porque se combinan y confunden, formando un color nuevo.

Dos fenómenos simbolizados por tonalidades diferentes, sobre una misma superficie, no podrán por tanto diferenciarse más que por separación de colores, o bien por medio de signos puntuales o lineales impresos en tinta plana, oscurecida con una sobrecarga, sobre una zona tramada o más clara.

Pero, por encima de todo, el mayor inconveniente del color es su elevado coste. En monocromía, la impresión se hace a partir de una sola plancha de dibujo, y en una sola pasada; en policromía, son necesarias tantas planchas y pasadas como colores básicos, tres como mínimo (tricromía), o cuatro si se incluye el negro (cuatricromía). De esto se deduce que el precio se multiplica, al menos, por el número de colores empleados, y que, a causa de los requerimientos técnicos antes mencionados, el tiempo de trabajo aumenta en la misma proporción.

Por todas estas razones, sólo debe recurrirse al empleo del color tras un análisis muy razonado de los motivos, que dependen principalmente:

— de la finalidad que se asigna al mapa; no hay inconveniente en que un simple croquis, un mapa con propósitos estrictos de localización, o incluso muchos mapas estadísticos, sean monocromos; otros mapas más elaborados, o que traten de un problema difícil, puede interesar que sean policromos;
— de la complejidad de la representación, como ocurre en los mapas de inventario, o en los de síntesis; en los mapas analíticos utilizados para el tratamiento de una información, suele ser menos importante el empleo de la policromía;
— del tipo de reproducción y difusión elegido;
— de los medios financieros de que disponga el cartógrafo.

El color aporta al mapa claridad y estética, pero no es un elemento estrictamente indispensable. Muy a menudo, un cartógrafo hábil obtiene los mismos efectos por la variación combinada de las formas, del valor y del grano. Por otra parte, el desarrollo de la automatización y de la reproducción electrónica sobre pantalla catódica incita, dado el estado actual de estas técnicas, a perfeccionar al máximo la representación monocroma en cartografía.

C) *Rotulación e información cartográfica adicional*

La letra, en un mapa, constituye una adición necesaria para la identificación de los lugares. La nomenclatura, o *toponimia*, tiene por objeto esencial calificar los puntos del plano, cuyo nombre debe quedar en la memoria del lector; se incluye en el nivel de lectura elemental, y no debe estorbar la lectura de los demás niveles. Por esta razón, la escritura no debe utilizarse para calificar hechos de orden geográfico que puedan representarse mediante otros símbolos, como se hacía a veces en antiguos mapas temáticos, en los que se leía en gruesos caracteres: Trigo, Cebada, Industria textil, etc.

Desde el punto de vista gráfico, la escritura es una forma y, como tal, asociativa; es preciso leer uno a uno los diversos nombres escritos, para diferenciarlos. Sin embargo, se pueden distinguir clases, haciendo variar el tamaño de los tipos, su orientación, su tono o su color. La letra toma entonces mayor o menor importancia, con relación al fondo del mapa sobre el que está escrita.

Técnicamente, la escritura se define por los datos siguientes: (figura 18):

— el *tipo de los caracteres*, que es la forma de la letra, y también su orientación; los tipos de caracteres son muchos y variados, a veces, muy ornamentales y fantásticos; pero en cartografía es importante utilizar sólo un número reducido de tipos simples: escritura en tipos comunes ("elzevir", "didot", "egipcia"), o escritura de bastón ("antigua"), en versales (mayúsculas) o en tipos de caja baja (minúsculas), en romanilla (escritura recta) o en itálica (cursiva); la utilización cada vez mayor de la tipografía, de la composición fotográfica y de los alfabetos prefabricados, para pegar o calcar, tiende por otra parte a simplificar y uniformar los tipos de escritura;
— el *cuerpo*, que es el tamaño de la letra medido en el sentido de su altura, perpendicularmente a la línea de base; también puede variar la letra en *anchura*, para obtener escrituras anchas, normales o estrechas;
— el *grósor*, que es una variación de valor en función del espesor del trazo;
— el *espaciamiento*, en fin, de las letras y de las palabras.

La elección del tipo de rotulación depende naturalmente del estilo del mapa, según sea clásico o imaginativo. Dentro de lo posible, todos los mapas de una misma serie deben estar compuestos con los mismos caracteres. Se tendrá en cuenta que un cuerpo inferior a 1 mm es prácticamente ilegible. Pero esta elección depende también de la significación que se quiera dar a los diferentes tipos de letra, y de la acumulación de palabras sobre el mapa. Desde estos puntos de vista, la situación y la implantación de las palabras deben ser muy estudiadas, y adecuadas a la implantación misma del fenómeno representado. Si el objeto que se califica es puntual, el rótulo debe ocu-

TIPOS DE LETRAS		PARÍS	PARÍS
PARÍS	Paris	PARÍS	Paris
CUERPO	P P P	R R R	
ESPACIADO	PARÍS	P A R Í S	
GROSOR	A A A A	1 2 3 4 5	

FIG. 18. — *Rotulaciones*

par, al lado o debajo del lugar, el menor espacio posible, y estar dispuesto de modo que se lea en el mismo sentido que el mapa. Si el objeto es lineal, el rótulo debe ser escrito encima o a la izquierda del eje al que califica, y siguiendo su trazado. Si el objeto es zonal, se procurará centrar el rótulo, juntando o separando las letras a intervalos regulares, para ocupar toda la extensión del símbolo, pero sin ocultar ninguna parte importante.

En todo caso, la rotulación debe ser lo suficientemente discreta como para no recargar el mapa, excepto en el caso en que el objeto de éste sea precisamente localizar una nomenclatura, como ocurre en algunos mapas murales o atlas. En la moderna cartografía se observa cada vez más la tendencia a reducir la letra al mínimo necesario, eliminando los topónimos superfluos, e incluso imprimiendo algunas veces toda la rotulación sobre un transparente, que puede superponerse sobre el mapa a voluntad. En todo caso, la preparación de la rotulación requiere siempre mucha atención y cuidado, y un sentido muy estricto de la jerarquización de los tipos, en beneficio de la claridad de expresión. La información auxiliar del mapa, fuera de la superficie cartografiada, puede ser más o menos compleja, pero deberá contener, al menos, los elementos siguientes:

- un *marco*, que delimita el campo del mapa, es decir, la extensión representada; por razones de estética o de ajuste en la impresión, puede a veces suprimirse, aunque no es recomendable; puede también ocurrir que el campo del mapa se extienda localmente, sobrepasando ligeramente el marco mediante un rebase.
- los *datos significativos de la cuadrícula*, longitudes y latitudes y, siempre que sea posible, la indicación del sistema de proyección utilizado;
- la *escala* numérica y gráfica, necesaria para efectuar medidas sobre el mapa;
- la *leyenda*, o resumen explicativo de las convenciones y símbolos adoptados;
- el *título*, indispensable para identificar el mapa y el tema tratado.

D) *Perspectivas y tercera dimensión*

Las representaciones perspectivas, perspectiva caballera, u ortográfica, y perspectiva de volúmenes, o estereográfica, se emplean sobre todo en figuras no cartográficas: croquis, diagramas o bloque-diagramas. Pero también se utilizan a veces en los mapas, para representar modulaciones de las variables visuales en función del alejamiento (fig. 19):

— La forma perspectiva se construye a partir de líneas de fuga que convergen hacia un punto situado en el horizonte, o mediante deformación de objetos cuyos contornos iniciales son conocidos; la perspectiva resulta de la distorsión de estos contornos: alturas, ángulos, convergencia de paralelas de fuga, conservación del paralelismo de las verticales, etc.

— El tamaño disminuye con el alejamiento, por lo que pueden obtenerse efectos de proximidad y de lejanía variando el espesor de los trazos:

— El valor y el color conducen a los mismos resultados, mediante el uso de tintas más oscuras para los objetos próximos y más claras para los lejanos.

Las perspectivas se utilizan principalmente para representar el relieve del suelo, y suelen aplicarse varios métodos simultáneamente.

Deben considerarse aparte las perspectivas aisladas. Los croquis tomados sobre el terreno en perspectiva caballera, y los establecidos a partir de fotografías terrestres o aéreas oblicuas no son mapas propiamente dichos, sino cuadros. No así los *diagramas de bloque* que se obtienen directamente del mapa mediante una puesta en perspectiva, por procedimientos más o menos complicados (fig. 19). Para dar una breve idea de su construcción,

diremos que se dibujan sobre los lados visibles de un marco fugado los cortes del terreno, con una escala conveniente de altura, puesta ella misma en perspectiva; se elevan entonces los puntos del terreno hasta la cota correspondiente, y el efecto final se obtiene por desenfilada de las partes ocultas y por retoques figurativos de trazos o de sombras. En las regiones muy planas, con desniveles despreciables, basta incluso con reproducir el mapa sobre un marco perspectivo para detener una imagen perfectamente aceptable.

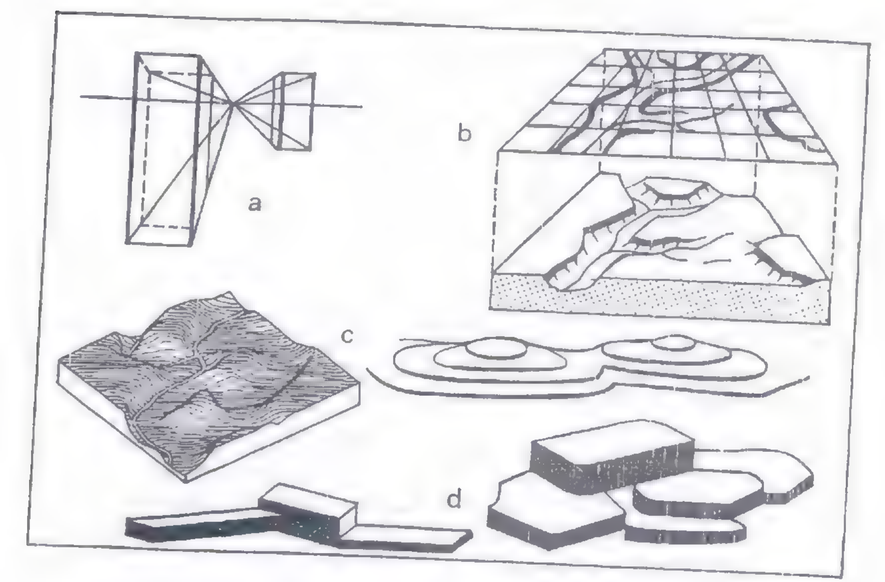


FIG. 19. — *Perspectivas y tercera dimensión*
a: perspectiva caballera; b: diagrama de bloques; c: estereograma; d: mapas con alturas proporcionales.

En los mapas topográficos, suele subrayarse el efecto de relieve mediante un difuminado, que consiste en un juego de sombras gris-azuladas e iluminaciones blancas o amarillas, según que la vertiente que se trata esté o no expuesta a la luz, que no tiene que ser forzosamente la del sol.[34]

Otra posibilidad consiste en establecer *mapas perspectivos*, aplicando al plano unas técnicas inspiradas en la perspectiva caballera y en los diagramas de bloque. Hay muchos ejemplos de esta clase en la cartografía antigua, sobre todo en algunos planos de ciudades del siglo XVIII. Pero las realizaciones modernas intentan ser más racionales y precisas. Los *estereogramas* son series de cortes del terreno muy próximos, colocados en posición sobre el mapa. Unos se obtienen por yuxtaposición de una serie de perfiles, que a veces se completa con otra serie ortogonal; el efecto se consigue por un mayor engrosamiento de las líneas en sombra. Otros se obtienen por superposición de secciones horizontales, dispuestas en planos hipsométricos escalonados desenfilando las líneas sobre las caras más alejadas. Puede efectuarse en ambos casos un alisado o moldeado de las discontinuidades, para suavizar las formas, ya sea por medio de trazos, como en los mapas de E. Raisz, o por combinación de trazos y sombras, como en los de J. Bertin.[35] En todo caso, los mapas perspectivos tienen muchos inconvenientes: deforman la realidad del plano y no dan información sobre las partes desenfiladas; además, el carácter subjetivo de la expresión del modelo, que depende de los efectos, los despoja de todo valor geométrico, e impide cualquier medida correcta sobre ellos. Su empleo sólo se justifica en mapas cuyo interés por el relieve se refiere más a la distribución de las masas que a la exactitud de los detalles.

Se emplean métodos análogos, aunque más rigurosos, en la fabricación de los *mapas en relieve*. El punto de partida es un modelo obtenido por vaciado de un molde de pasta maleable, o bien apilando placas de madera cuyos contornos se corresponden con los de las secciones hipsométricas del mapa original, recortadas, mediante el pantógrafo. Una vez alisado este modelo, se obtiene de él una matriz, que antes servía para vaciar en yeso, y hoy para moldear, calentándola, una hoja de plástico preimpresa, que registra y conserva, al enfriarse, la forma del modelo.

Es más raro el uso de *volúmenes perspectivos* para la representación de fenómenos geográficos, aunque este procedimiento puede aplicarse con una variable *z* cualquiera como tercera dimensión. En la implantación zonal (unidades administrativas o Estados, por ejemplo) y en la lineal, para obtener bloques perspectivos basta con elevar convenientemente las zonas o líneas consideradas, disponiéndolas como las teclas de un piano (fig. 19). En la implantación puntual, sólo se emplean los volúmenes (cubos, paralelepípedos, pirámides o esferas) en mapas donde el efecto didáctico o estético importa más que la exactitud de las localizaciones. Estas figuras ocupan más espacio que las planas correspondientes, y son más difíciles de centrar

con precisión. Se exceptúa de esta regla el volumen esférico, que ocupa un espacio idéntico al de la sección que pasa por su centro, y en el que el efecto perspectivo se logra simplemente mediante artificios de dibujo, como puntos de luz o mallas de coordenadas (fig. 15). El uso de estas figuras puede ser útil en el caso de series numéricas muy extendidas; por ejemplo, en la representación sobre un mapa de núcleos de población desde dos mil a varios millones de habitantes.

V. LA GENERALIZACIÓN

La generalización se aplica a todos los elementos del mapa; a la planimetría, a las formas del relieve, a las representaciones temáticas, y también a la rotulación. Técnicamente, la generalización comprende tres operaciones: una estricta selección de los detalles que deberán o no conservarse; una esquematización razonada de las formas y de los trazados; y una armonización general, necesaria para el equilibrio del conjunto.[36]

La *selección* de los detalles viene impuesta por la necesidad de eliminar todo lo que contribuiría a hacer el mapa ilegible o confuso. No es posible, por ejemplo, mantener en un mapa a 1:1.000.000 la misma red hidrográfica de otro a 1:100.000, ya que esto supondría un aumento exagerado de la densidad gráfica, en detrimento de los espacios interfluviales, sobre los que no se podría ya representar nada más. Pero esta selección no puede hacerse al azar, ni siquiera con criterios matemáticos (suprimiendo, por ejemplo, todos los ríos por debajo del n—ésimo orden), sino que debe corresponder a una cierta jerarquía de valores determinada de acuerdo con el objetivo del mapa. Primero, el valor intrínseco del objeto: se conservarán más ríos sobre un mapa hidrográfico o geomorfológico que sobre otro industrial o agrícola. Después, el valor de referencia: es decir, la ayuda que el objeto pueda prestar para situar mejor los objetos principales. Finalmente, el valor relativo, con respecto a otros objetos de la misma naturaleza cuya importancia, sin embargo, es distinta. Estos mismos principios se aplican a las curvas de nivel, a la densidad de núcleos de población, a la nomenclatura, etc. La selección es siempre

delicada, y no puede considerarse como una simple operación técnica; debe, en todo caso, obedecer a motivos muy concretos. Y es de nuevo el especialista, el autor del mapa, quien debe efectuarla.

Cuando se trata de reemplazar la proyección real de un objeto por un signo convencional o simbólico, hay que recurrir a la *esquematización*, que consiste, como hemos visto, en la utilización racional de las variables visuales más adecuadas a la escala y a la naturaleza del fenómeno que se representa. Pero incluso antes, durante el proceso de construcción del mapa, se aplica también a los diferentes grafismos, sobre todo cuando se trata de una reducción de escala; en este caso, vuelve a intervenir en la eliminación de los caracteres perjudiciales o despreciables, en la fusión de objetos similares y demasiado pequeños para su representación individual sobre un mismo lugar, o por el contrario, en el refuerzo de los caracteres notables que la reducción podría hacer desaparecer. Esto es lo que J. Bertin (1967) llama *generalización estructural*, que conserva la implantación de los diferentes grafismos (fig. 20). Los detalles puntuales se esquematizan fácilmente en forma de símbolos, igualmente puntuales, que pueden ser individuales o colectivos. La esquematización de los detalles lineales consiste principalmente en suprimir las inflexiones inútiles, conservando, e incluso exagerando, las más características. Con este criterio se efectúa el trazado de los cursos de agua, de las vías de comunicación, de las curvas de nivel y de los límites de todo tipo, teniendo cuidado de mantener escrupulosamente las formas y posiciones de los accidentes característicos, tales como trenes de meandros, encrucijadas, talwegs, lindes, etc. La esquematización más difícil es la de las zonas representadas por símbolos independientes: nubes de puntos de recuento, conjuntos de islas o de lagos, campos de dolinas o de dumas. Los símbolos fusionados deben mantener con el mayor cuidado posible las relaciones de situación, de forma y de orientación observadas sobre el modelo. Pero cuando la escala disminuye demasiado es necesario pasar a la *generalización conceptual*, que requiere otra expresión cartográfica menos detallada, lo que requiere cambios de implantación, y la utilización de informaciones diferentes (fig. 20). El papel del investigador sigue



FIG. 20. – *Generalización*
Los lagos de Dombes a 1:1.000.000, según J. BERTIN
a: Reducción del mapa IGN a 1:500.000;
b: Generalización estructural de la representación anterior;
c: Generalización conceptual: contornos de la región de los lagos.

siendo fundamental, puesto que sólo él puede, por su conocimiento de la región, de la complejidad de sus alrededores y de la importancia de los problemas, tomar las decisiones adecuadas.

La *armonización* tiene por objeto preservar las relaciones espaciales que existen entre todos los elementos del mapa, y el equilibrio gráfico de los detalles, en función de la importancia relativa que se les conceda. Se impone por el hecho de que la esquematización no impide que algunos objetos ocupen un espacio desmesurado en relación a su implantación real, lo que obliga a un falseamiento en la posición de los objetos inmediatamente vecinos. Partiendo, pues, de una red de referencias consideradas como fijas (por ejemplo la red hidrográfica), se tratará de desplazar lo menos posible y del mejor modo los otros elementos, en orden decreciente, de acuerdo con su importancia, para mantener en el mapa sus cualidades descriptivas esenciales. Es ésta una operación de carácter técnico, que exige habilidad, pero que no necesita tanto como las precedentes la intervención del investigador.

Una buena generalización no es, pues, una simple reducción, como la que se obtendría, por ejemplo, por métodos fotográficos. Exige constantemente retoques muy meditados, que a su vez requieren una colaboración muy estrecha entre el especialista, que conoce los fenómenos representados, y el cartógrafo, que domina las técnicas del mapa. Esto debe entenderse tanto al nivel del levantamiento, que se realiza con unos ciertos fines de expresión gráfica, como al nivel de dibujo, en el que lo que importa es coordinar la ocupación del plano. La generalización es tanto más difícil cuanto más pequeña es la escala y más recargado esté el mapa. En la práctica, se lleva a cabo en varias etapas:

- en primer lugar, se procede a la redacción, a una escala que permita disponer de la totalidad de la información recogida; esta escala debe ser, al menos, doble de la definitiva;
- después, se realizan una o varias reducciones sucesivas, por procedimiento fotográfico o de otro tipo, lo que permite en cada paso, definir los detalles que, por resultar poco legibles, es necesa-

rio eliminar, simplificar o reemplazar por otros símbolos; sobre la última de estas reducciones se efectúa el dibujo, tal y como aparecerá en el documento final;
- finalmente, se efectúa otra ligera reducción fotográfica, por lo general de un tercio, destinada únicamente a afinar el dibujo y a reducir los errores gráficos.

La generalización es una operación que no puede ser evitada, ni tampoco automatizada fácilmente, por ser diferente en cada caso. Se trata de un tema que necesita, ante todo, inteligencia, sentido común, oportunidad y experiencia; es uno de los numerosos aspectos de la cartografía en que el hombre es todavía irreemplazable por la máquina.

VI. LAS CUALIDADES DE UN BUEN MAPA

La apreciación de las cualidades que hacen que un mapa sea considerado bueno o malo es, en la mayoría de los casos, una operación muy subjetiva. Basta con enseñar el mapa a diferentes personas, para recoger opiniones contradictorias. Puede ocurrir, incluso, que un mapa sea juzgado como bueno, en un caso concreto de utilización, y como malo en otro. Y esto porque algunas cualidades se estiman en relación a las condiciones de empleo del mapa y al crédito que se le pueda conceder; son las cualidades de fondo, de orden técnico y científico. Y otras valoran sobre todo la claridad del mapa y la elegancia de su presentación; son las cualidades de forma, de orden didáctico y estético.

Todas estas cualidades pueden ser reunidas en los cuatro epígrafes siguientes:

A) *Precisión*

La precisión es la cualidad de un mapa cuyo error gráfico es mínimo,[37] teniendo en cuenta su escala, y los instrumentos utilizados en su levantamiento y en su redacción. Un mapa es preciso cuando

la posición de los objetos y de los lugares que en él figuran es rigurosamente homóloga a la que estos mismos objetos y lugares ocupan sobre el terreno, en la relación dada por la escala. Si cumple estas condiciones, el mapa asegurará al lector el máximo de garantías para efectuar medidas sobre él en las mejores condiciones, siempre dentro de los límites del sistema de proyección adoptado.

La precisión de un mapa depende, en primer lugar, de la colocación y el trazado de los diversos elementos gráficos. Pero se refuerza cuando, sobre el propio plano y en sus márgenes, se hacen constar todos los datos necesarios para la ejecución de las medidas, geométricas o de otro tipo, que pueden efectuarse sobre él: red de coordenadas (o sus orígenes, al menos), referencias geodésicas, escalas numérica y gráfica, sistema de proyección, ábacos para el cálculo de las variables cuantitativas, etc.

Para poseer todas las cualidades requeridas en una utilización muy precisa, el mapa debe ser exacto y fiel al mismo tiempo. Exacto, es decir, no contener faltas de documentación, de localización o de interpretación. Fiel, es decir, contener de forma correcta, en plena conformidad con la realidad, toda la información compatible con su escala y su finalidad. Debe recordarse, sin embargo, que la precisión de un mapa disminuye necesariamente con su escala, puesto que la generalización altera la exactitud del dibujo y falsea, en consecuencia, las medidas efectuadas.

B) *Expresión*

Un mapa es expresivo cuando valora convenientemente, con relación a todas las demás, las informaciones y los encadenamientos más significativos, o aquéllos sobre los que el autor desea insistir especialmente. La expresión, en materia de cartografía, es el arte de sugerir gráficamente, al nivel de detalle, qué objetos o grupos de objetos son considerados más importantes, y de poner en evidencia, al nivel de conjunto, los valores relativos de las diversas partes del dominio estudiado.

Para ello, las variables visuales deben estar cuidadosa y lógica-

mente escogidas. El cartógrafo debe limitarse, en este tema, a aplicar algunas reglas de sentido común; utilizar representaciones bien concebidas, reunir lo que es comparable, poner en contraste lo que es distinto, clasificar mediante variables ordenadas, subrayar nítidamente la jerarquía de los hechos y relaciones más significativos. Debe emplear, por tanto, los signos, grafismos, símbolos, colores y tramas más apropiados, estableciendo un reducido número de convenciones simples, que deberán ser recordadas, explicadas y ordenadas correctamente en una leyenda completa. Debe evitar, en todo caso, cualquier simbolismo confuso o equívoco, irracional o irregular. No se debe obligar al lector a resolver en cada ocasión un acertijo demasiado complejo; por el contrario, debe hacérsele posible el dejarse guiar por sus propias impresiones visuales, y por la misma lógica del sistema de representación, ahorrándole vacilaciones.

La expresión contribuye de modo importante al valor científico de un mapa. En cartografía topográfica, resulta inseparable de la precisión, a la que completa. En cartografía temática, su papel es prioritario, puesto que entonces el objetivo esencial del dibujo estriba en ofrecer una visión distinta y coherente de los hechos representados, y de sus correlaciones.

C) *Legibilidad*

La legibilidad de un mapa es la cualidad por la que la información que se busca puede ser inmediata y fácilmente percibida, distinguida de todas las demás y memorizada sin esfuerzo, sea cual sea el nivel de lectura considerado. Un mapa deja de ser legible cuando, al nivel de detalle, el ojo no puede aislar a primera vista la información deseada, ni, al nivel de conjunto, captar las relaciones generales que existen entre los símbolos figurativos elementales.

Las reglas de lectura de un mapa recuerdan las reglas análogas de lectura de un texto, o de audición de un discurso. Todas tienen esencialmente en cuenta los límites de percepción ya analizados (p. 82), que no pueden rebasarse; consideran, por una parte, la claridad del mensaje, y, por otra, la selectividad de los medios de expresión.

Por tanto, a nivel elemental, las variables visuales se elegirán no sólo atendiendo a su valor simbólico, sino también a sus propiedades disociativas. Para la mejor utilización posible de los diferentes escalones retinianos, se establecerán los intervalos sensibles más apropiados para que la distinción entre los símbolos de un mismo grupo sea tan fácil de realizar como entre los de grupos diferentes. A nivel general, se procurará una clara separación entre los símbolos propios del tema tratado y los de referencia del fondo del mapa básico, evitando sobre todo que una densidad gráfica demasiado grande haga la lectura confusa o complicada.

La regla fundamental es que el documento no debe estar nunca sobrecargado; al menos, no debe dar esa impresión. Ciertos artificios técnicos, como el empleo del color o la habilidad del dibujo, pueden contribuir a ello. Pero existe siempre un umbral que no debe sobrepasarse, más allá del cual varios mapas fáciles de descifrar valen más que uno solo ilegible. En este caso, debe considerarse el posible recurso a mapas auxiliares anexos, a escalas diferentes, o bien a mapas a la misma escala sobre soportes transparentes, superponibles al mapa principal.

D) *Eficacia, o rendimiento*

La legibilidad y la expresión de un mapa son, como cualidades de orden fundamental, las que condicionan el buen uso del documento, y, como cualidades de orden estético, las que hacen su presentación agradable y armoniosa. No obstante, las preocupaciones artísticas no deben preponderar nunca sobre las científicas o utilitarias, salvo cuando se trate de mapas decorativos. Por ello, una manera más objetiva de apreciar las cualidades de un buen mapa consiste en evaluar su eficacia, o, si se prefiere hablar en términos económicos, su rendimiento.

Un mapa es eficaz cuando está perfectamente adaptado a su objetivo, dentro de los límites de su escala y de su sistema de proyección. Para ello debe ser:

- *útil*; es decir, que sea capaz de responder a todas las preguntas que el lector pueda hacerse sobre el tema tratado;
- *conciso*; es decir, que conteniendo todos los datos necesarios para las investigaciones, excluya al mismo tiempo todo elemento extraño o superfluo;
- *completo*; es decir, que cubra la totalidad de la superficie estudiada, sin interrupciones ni cortes;
- *veraz*; es decir, que la información que proporciona se mantenga en los límites de la observación o de la documentación, y de sus interpolaciones razonables; con este objeto, muchos mapas científicos advierten al lector, en sus márgenes o en una nota anexa, sobre el valor real de la información suministrada, mediante indicación crítica de las fuentes, una noticia sobre los métodos de levantamiento, y una representación o notación de las incertidumbres.

La eficacia de un mapa es una cualidad que se comprueba con el uso, según sean su comodidad de empleo y el valor de los servicios prestados. Es particularmente necesaria en los mapas destinados a dar cuenta de resultados ya establecidos, como los científicos de síntesis, los didácticos, los de atlas y los murales; y resulta indispensable en los de aplicación, destinados al ejercicio de una acción determinada, respecto a la cual señalan las posibilidades y obstáculos, como ocurre en los mapas de carreteras, en las cartas náuticas y aeronáuticas, en los mapas geotécnicos, etc. La eficacia procede de la manejabilidad y de la riqueza y fiabilidad de la documentación, es decir, de la confianza que pueda concederse a la información tratada. Por tanto, resume de alguna manera las cualidades anteriores y, en cierto modo, las mide.

El valor de un mapa depende, en definitiva, del tiempo mínimo necesario para extraer de él la máxima cantidad de buena información. El mejor mapa es el que exige el menor esfuerzo en el mínimo tiempo, para llegar a este resultado; ésta es precisamente la noción de rendimiento. El rendimiento más satisfactorio es aquél para el cual el "costo mental" de percepción y de comprensión es menor. En teoría, el mapa más eficaz es el que, para cada pregunta, ofrece una

respuesta en una sola imagen, es decir, en un solo instante de percepción.[38] Pero rendimiento no es forzosamente el mismo a los diferentes niveles de lectura ni en los distintos tipos de utilización; puede variar tanto en un mismo documento como de un mapa a otro.

E) *Leyendas y título*

Por muy expresivo que sea, no hay buen mapa sin título ni leyenda. Como documento gráfico que es, el mapa debe poder aislarse, cuando sea preciso, del contexto literario o cartográfico del libro o colección a que pertenece, y ser eventualmente integrado en cualquier circuito de tratamiento de la información. Es preciso por tanto que contenga en sí mismo todos los informes necesarios para un usuario no prevenido. A estos efectos, el título y la leyenda forman parte integrante del mapa, y facilitan su buen uso. La leyenda es indispensable para la comprensión del documento y de su simbolismo; el título permite reconocer su tema, y clasificarlo.

La redacción de la *leyenda* debe estudiarse con cuidado, ya que tiene por objeto facilitar la lectura del mapa y ayudar al lector a percibir rápidamente los objetos y los hechos, a apreciar sus variaciones y a reconocer sus correlaciones. No deben faltar en ella ninguno de los símbolos o grupos de símbolos que aparecen en el mapa, ninguna unidad, ningún cambio de valor, ninguno de los criterios numéricos utilizados. Debe concebirse de modo análogo al índice de materias de un texto, con frases cortas, o simples palabras, clasificadas según una jerarquía lógica de caracteres y cuerpos que recuerde la propia jerarquía de las ideas expresadas (cabeceras de capítulo, epígrafes y párrafos); acabando con la designación singular de los objetos, es decir, de los símbolos elementales, que suelen reunirse en un dibujo, encerrado o no en un pequeño cuadro, al que se llama *orla*.

Una leyenda bien hecha es una herramienta de trabajo extremadamente útil; permite al lector orientarse con seguridad en el análisis del mapa, ya que le proporciona la clave de las variables retinianas empleadas y de su sentido de variación. Cuando es necesario, se incluye una representación visual de la variación tipo, en forma de

ábacos destinados al cálculo de los valores, o de orlas en las que se indican los distintos intervalos o categorías. Finalmente en la leyenda se incluyen indicaciones sobre las fuentes de documentación, los métodos de levantamiento y la precisión del documento.

El *título* es la ficha de identidad del mapa. Un buen título debe ser a la vez corto y completo. Corto, no solamente porque el lugar que se le reserva viene siempre limitado por la longitud del marco superior, sino también porque el concepto que expresa debe poder comprenderse en un tiempo mínimo. Completo, porque debe suministrar todo lo necesario para la identificación del mapa y de sus componentes, y porque es el único medio para clasificarlo bibliográficamente. Ejemplos:

"Francia. Densidad de población
Mapa geomorfológico detallado de Francia a 1:50.000
Hoja Nogent-le-Roi"

Las informaciones indispensables que deben incluirse en el título son:

- localización del sujeto (Francia; hoja Nogent-le-Roi); en muchos casos esta localización puede parecer superflua, bien porque esté suficientemente clara (como en un mapa de Francia entera, o de un continente), o porque suele venir precisada por el recuadro geográfico; pero, para facilitar la clasificación, es bueno que figure en primer plano en el título;
- la escala;
- el contenido invariable del mapa (población, geomorfología), definido por una o varias palabras clave;
- la denominación de las diversas componentes variables que caracterizan al documento (densidad; geomorfología detallada; categorías; cantidades; etc.);
- el nombre del autor, el editor, y el lugar y fecha de publicación, que se imprimen generalmente al pie del marco inferior.

La disposición del título con relación al marco, y el uso de tamaños y tipos de escritura diferentes, permiten al cartógrafo valorar mejor todas estas indicaciones.

Las cualidades de un mapa son sutiles y difíciles de definir con exactitud. Lo que sí es cierto es que en un mapa no deben existir indecisiones, insuficiencias, ni debilidades. Por ello, la cartografía es una disciplina exigente, e incluso tiránica, tanto en lo que se refiere a la investigación como a la expresión de los resultados. La búsqueda de exhaustividad no admite confesión de ignorancia, y, por otra parte, el relleno de los vacíos debe estar perfectamente justificado. Una cartografía bien hecha es tan necesaria en el campo del inventario como estimulante en el de la investigación.

VII. LA PROFESIÓN DE CARTÓGRAFO

A) *Las etapas del trabajo cartográfico*

La cartografía comprende una serie de operaciones que requieren conocimientos y aptitudes muy diversas. El punto de partida es la compilación de datos, y la determinación de su posición en el mapa. Éstas son las operaciones de *levantamiento*, a partir de encuestas y medidas efectuadas directamente sobre el terreno, o a partir de la explotación de documentos de todo tipo: fotografías aéreas, fuentes estadísticas, bibliográficas, cartográficas o iconográficas, análisis de gabinete, etc. Viene después la *redacción* del mapa en lenguaje cartográfico. Más tarde, el *dibujo* de las planchas, para la reproducción. Por fin, la *impresión* definitiva, y la *difusión* del mapa terminado.

El trabajo del cartógrafo se sitúa así en dos planos diferentes: por una parte, el del conocimiento profundo del tema a cartografiar, y de los medios gráficos que permiten transmitir eficazmente una información; por otra, el de la ejecución material de esta representación, de modo que sea legible, múltiple y comunicable a otra persona.

La primera etapa del trabajo cartográfico es ante todo una *etapa científica*, que exige como condición mínima una gran familiaridad con el dominio a cartografiar. De hecho, nada distingue en esta etapa al cartógrafo del investigador ejercitado en la disciplina consi-

derada, salvo que su block de notas y su hoja de redacción, en lugar de fichas y cuadernos, son fondos de mapas representativos del espacio estudiado. El que levanta un mapa topográfico, debe ser geodesta y topógrafo; si se trata de un mapa geológico, debe ser geólogo; si el mapa es geomorfológico, geomorfólogo; el que emprende una cartografía de la población, debe ser demógrafo y sociólogo; si se trata de un mapa regional, un excelente geógrafo de síntesis; etc.

Para ser buen cartógrafo es necesario ser antes un buen especialista. En efecto, es preciso saber observar, identificar y reconocer, en la complejidad de los hechos, lo que es esencial, lo que es determinante y lo que es correlativo; manipular la información para poder clasificar, comparar, explicar, separar, reagrupar y distinguir conjuntos y relaciones; operar transformaciones; y, sobre todo esto, hay que saber también localizar, expresar y simbolizar. Una buena cartografía exige no sólo un agudo sentido del terreno, sino también el arte de saber explotar una documentación variada, lo que implica una noción científica del hecho significativo, y por tanto afición al esfuerzo intelectual y físico que exige la constante necesidad de recurrir a las realidades naturales. Como cualquier otro investigador, el cartógrafo debe dominar el tema que pretende tratar, pues componer un mapa es tan difícil como componer un texto, ya que ambas son dos maneras diferentes de conseguir un mismo objetivo. Todo ello supone que, tras una compilación crítica de las informaciones, debe procederse a un serio trabajo de análisis, y más tarde de síntesis, totalmente comparables a los del investigador no cartógrafo.

Esta primera etapa conduce generalmente a la elaboración de un documento original, el *croquis*, llamado croquis de campo o croquis de gabinete, según que haya sido realizado a partir de levantamientos directos o de la compilación de informaciones diversas. El croquis es un documento científico que no tiene por qué poseer un valor gráfico irreprochable; es más bien un proyecto o, propiamente hablando, un borrador, tan exhaustivo como sea posible, que servirá de base para la ejecución definitiva.

Las etapas siguientes son ante todo *etapas técnicas*. El punto de vista científico no interviene más que para efectuar mejoras o correcciones, con objeto de depurar la expresión del pensamiento del autor.

Se trata esencialmente de transformar el croquis en *minuta*, y después la minuta en *mapa*, por los medios usuales de dibujo, fotograbado e imprenta. Desde este momento, se ponen a prueba los conocimientos técnicos y el arte del cartógrafo, puesto que la técnica impone a menudo servidumbres y límites; pero ofrece, en cambio, una gama de posibilidades que crece sin cesar, y de las que hay que aprovecharse plenamente.

Pasar del croquis a la minuta es ya obra propia del *delineante cartográfico*. La minuta es un documento definitivo, perfectamente a punto, que debe poder ser reproducido sin indecisiones ni problemas por otros operadores, que son generalmente técnicos puros. Puede consistir en una simple puesta en limpio, a escala, del croquis de campo o de gabinete; pero puede requerir, además, una reducción que exija, a su vez, una generalización razonada. En todo caso, la realización de la minuta exige un conocimiento perfecto de los procedimientos gráficos del lenguaje cartográfico.

No obstante, en esta etapa el cartógrafo no puede prescindir aún del investigador, e incluso es conveniente que él mismo sea también el investigador, para poder comprender bien lo que hace y por qué lo hace. La puesta en limpio debe respetar la jerarquía y las relaciones mutuas de los fenómenos representados, factores que no pueden ser apreciados más que por un especialista competente. La generalización, cómo se ha visto, no es una reducción ordinaria, sino que obliga continuamente a tomar decisiones científicamente motivadas por un conocimiento profundo del tema tratado. El paso del croquis a la minuta es, por tanto, un momento difícil, en el que se conjugan los esfuerzos del investigador y del técnico, que pueden o no reunirse en una misma persona.

Los trabajos siguientes son ya principalmente técnicos, y podrían incluso abandonarse a la responsabilidad de simples ejecutantes, si no hubiese interés en informarles lo mejor posible acerca de las razones y los fines de su trabajo, para su mejor formación profesional. La ejecución del dibujo exige mucha destreza, aunque sea facilitada cada vez más por procedimientos mecánicos, el uso de tramas prefabricadas e incluso una automatización total o parcial. Pero subsiste en la mayoría de los casos una parte de trabajo artesano, o de

laboratorio. No ocurre lo mismo en el fotograbado y en la impresión, salvo en algunos talleres experimentales.

Llegado a este punto, el *mapa* entra en el circuito industrial y comercial, escapando a su creador.

B) *La formación del cartógrafo*

El trabajo cartográfico pasa por ciertos momentos, se ejerce en ciertos lugares y utiliza ciertos equipos que reclaman la intervención, por separado o conjuntamente, del *investigador* y del *técnico*. Los objetivos, principios y métodos de esta intervención son los que definen la profesión de cartógrafo. Por exigir a la vez conocimiento, arte y técnica, la cartografía no puede ser aislada sin peligro de la ciencia a la que, en cada caso, se propone servir. El cartógrafo debe saber cómo hacer expresivo el documento que se le pide, pero también cómo realizarlo de modo que refleje su propio pensamiento. No puede haber, sin riesgos, una separación neta entre el investigador (que sería el único capacitado para llegar hasta el fondo de los problemas, pero carecería de toda experiencia en materia gráfica), y el cartógrafo (que podría estar en posesión de una técnica inaccesible, pero sería considerado siempre como un colaborador de segundo plano).

Ciertamente, existen varios *cartógrafos*, dependiendo de los objetivos y de los niveles de ejecución del trabajo cartográfico. Pero, al menos para las primeras etapas, que van desde el levantamiento hasta la minuta, e incluso hasta el dibujo, es indispensable poseer una doble formación. El técnico debe estar suficientemente ilustrado acerca de los problemas que tendrá que tratar, y el investigador no puede ignorar los recursos y los límites de las técnicas de la expresión. Así, la geografía, la geología, la historia, o cualquier otra disciplina de la organización del espacio, deben enseñarse, como especializaciones, en las escuelas técnicas de cartografía, para preparar cartógrafos-investigadores. En cambio, la semiología, la cartografía automática, e incluso la práctica del dibujo, deberían enseñarse en todas las universidades, para la formación, según las necesidades, de investigadores-cartógrafos.

Al principio, pareció preferible que un técnico de espíritu abierto adquiriese una comprensión suficiente de los problemas de una cierta disciplina, a que un investigador dispersase sus esfuerzos en la adquisición de una técnica difícil; así nacieron fructíferas colaboraciones, de las que el siglo pasado ofrece magníficos ejemplos. Pero sería más razonable crear una nueva categoría profesional que combine los conocimientos básicos de un cierto campo científico con una seria experiencia de las técnicas cartográficas. En París se imparte una enseñanza superior universitaria de la cartografía,[39] para estudiantes ya licenciados en alguna disciplina; su objetivo es formar un cuerpo de cartógrafos capaces, no solamente de poner en limpio los croquis realizados por los investigadores, sino también de elaborar mapas por sí mismos, a partir de investigaciones personales. Los programas tratan principalmente temas sobre el aparato matemático y automático de la cartografía, las técnicas de dibujo y de expresión gráfica, la reproducción de mapas, y la composición cartográfica.

Al final de sus estudios, estos cartógrafos obtienen un nivel de ingeniero, o un diploma de tercer ciclo, que les da acceso a empleos en editoras, en oficinas cartográficas oficiales y privadas, en laboratorios de investigación y en sociedades de estudio. Estos diplomados son aptos para encargarse por sí mismos de la resolución cartográfica de problemas originales; su competencia profesional no se limita a las etapas "científicas" de la cartografía, sino que abarca también la organización y supervisión de las etapas "técnicas", a cargo de graduados procedentes de otras escuelas o institutos técnicos universitarios.

Existen universidades, muy pocas todavía, que dispensan, por propia iniciativa, cursos de iniciación a la cartografía abiertos, en su primer y segundo ciclos, a todos los estudiantes. Su objetivo es estimular en los alumnos la afición a expresarse mediante mapas, y darles los medios para ello, con una formación estrechamente unida a los estudios científicos, que incluye prácticas en los trabajos de campo. Se trata, de llevar al investigador a un punto de vista nuevo, a una manera diferente de abordar y resolver los problemas, más bien que de ofrecerle una nueva técnica; provisto de tal bagaje, el

científico ve abrirse ante él nuevas perspectivas, tanto en la investigación fundamental como en la aplicada, y en lo que afecta a sus medios de expresión. Cuando menos, adquiere métodos de trabajo que le obligan a no perder nunca contacto con la realidad del terreno.

NOTAS

1. O. DOLLFUS, *L'espace geographique*, Paris, PUF, colección "Que sais-je?", 1970.
2. Aproximadamente lo que J. TRICART ha llamado *la epidermis de la tierra*. (*L'epiderme de la Terre*, Paris, Masson, 1962).
3. J. BEAUJEU-GARNIER, *La géographie: méthodes et perspectives*, Paris, Masson, 1971.
4. S. RIMBERT, *Cartes et graphiques*, Paris, SEDES, 1964.
5. G. ROUGERIE, *Géographie des paysages*, Paris, PUF, col. "Que sais-je?", 1969.
6. Véase J. BEAUJEU-GARNIER, *op. cit.*, 1971, p. 42.
7. A. CHOLLEY, "Points de vue géographiques", *Inf. geogr.*, 1948, fasc. 3, p. 85, y fasc. 4, p. 127; y también J. BEAUJEU-GARNIER, *op. cit.*, 1971, p. 42.
8. Véase J. BEAUJEU-GARNIER, *op. cit.*, 1971, p. 42.
9. Véase O. DOLLFUS, *op. cit.*, 1970, y J. BEAUJEU-GARNIER, *op. cit.*, 1971, p. 42.
10. Véase J. BEAUJEU-GARNIER, 1971: y también R. BRUNET, "Les phénomènes de discontinuité en géographie", *Mém. et doc.*, CNRS, Paris, nueva serie, vol. 7, 1968: y O. DOLLFUS, *op. cit.*, 1970.
11. Un ejemplo de este método ha sido dado por F. JOLY en: *Une carte au 1:1.000.000 de l'utilisation du sol au Maroc*, Rabat, Inst. Scient. Chérif., 1960.
12. J. TRICART y A. CAILLEUX, "Le problème de la classification des faits géomorphologiques", *Ann. de géogr.*, 1956, p. 162-186.
13. G. BERTRAND, "Paysage et geographie physique globale", *Rev. géogr. Pyr. y S.-O.*, 1968, pp. 249-272; véase también R. BRUNET, *op. cit.*, 1968, p. 49.
14. Existen numerosos y muy profundos tratados sobre las proyecciones. El más accesible y completo para el uso corriente es el de F. REIGNIER, *Les systèmes de projection et leurs applications*, Paris, I.G.N., 1957, un vol. de texto y un vol. de gráficos.
15. Véase por ejemplo J. BERTIN, 1967.
16. Se encontrará un ejemplo en E. RAISZ, *General Cartography*, 1948, p. 92.
17. Véase J. BERTIN, *Semiologie graphique*, Paris, Gauthier-Villars, 1967, obra ya citada, cuyas reflexiones teóricas merecen ser conocidas.
18. Hay varias maneras de entender esta palabra; a menudo se la confunde con el término poco empleado de cartodiagrama. Se siguen aquí las definiciones adoptadas en el Glosario francés de cartografía, *Bull. du Comité fr. de Cartogr.*, n.° 46, 1970.
19. J. BERTIN, 1967.
20. H. GAUSSEN, "L'emploi des couleurs en cartographie", *Bull Serv. de la carte phytogéogr.*, serie A, t. III, 1958.
21. J. BERTIN, 1967.
22. Se seguirá aquí también a J. BERTIN, 1967.
23. Formación geológica producida por hundimientos de grutas calcáreas, debido a la erosión de las aguas, llamadas también torcas. (*N. del t.*)

24. Glosario francés de cartografía, *op. cit.*, 1970.
25. F. DE DAINVILLE, *Le langage des geographes*, Paris, Picard, 1964.
26. Glosario francés de cartografía, *op. cit.*, 1970.
27. Véase, por ejemplo, la *Carte des industries françaises* publicada por el Comité Nacional del Patronato francés, Paris, 1962; y el Proyecto de normalización de símbolos de mapas temáticos, por S. DE BROMMER y F. JOLY, *Ann. int. de Cartogr.*, VI, 1966, pp. 47-80.
28. Glosario francés de cartografía, *op. cit.*, 1970.
29. S. DE BROMMER y F. JOLY, "Projet de normalisation des symboles de cartes thématiques", *op. cit.*, 1966. Véase también *Légende pour la carte géomorphologique de la France au 1:50.000*, publicada por la RCP 77, CNRS, Paris, 1970; y "Project of the unified key to the detailed geomorphological map of the world", *Folia Geographica*, Int. Geogr. Unión, Commiss. on applied geomorph., Krakow, vol. II, 1968.
30. J. JOLY, "Problèmes de standardisation en cartographie thématique", *Ann. inter de Cartogr.*, XI, 1971, pp. 116-119.
31. H. GAUSSEN, 1958.
32. F. JOLY "La carte géomorphologique détaillée de Mansle S.O. au 1:50.000 (caractères et intérêt de la cartographie géomorphologique détaillée)", *Mém. et doc.*, CNRS, Paris, 1971, nueva serie, vol. 12, pp. 159-163.
33. F. JOLY, *Une carte... de l'utilisation du sol au Maroc*, 1960.
34. Véase más adelante la expresión del relieve en los mapas topográficos, p. 153.
35. E. RAISZ, 1948; J. BERTIN, 1967.
36. G. ALINHAC, *Cartographie théorique et technique*, 2° fasc., Paris, IGN, 1962.
37. Definición del Comité Francés de Cartografía, 1970. Se llama error gráfico "el error introducido en el momento de la redacción, definido por la separación entre la posición teórica de un elemento gráfico y su trazado".
38. J. BERTIN, 1967.
39. Después de 1976, esta enseñanza ha tomado la forma de un DESS (Diploma de Estudios Superiores especializados), y se ha extendido a otras universidades.

Capítulo II

LA REPRESENTACIÓN DE LA SUPERFICIE TERRESTRE

Uno de los fines primordiales de la cartografía es la representación objetiva, exacta y precisa, de las formas materiales y de los objetos reales que se encuentran en la superficie de la Tierra, o, dicho de otra manera, de las características concretas del espacio geográfico.

Esta representación de la superficie terrestre constituye desde hace largo tiempo la misión de especialistas, geodestas y topógrafos, herederos de los astrónomos y de los "ingenieros geógrafos" de los siglos XVII y XVIII. Requiere a la vez serios conocimientos matemáticos y físicos, un fino sentido del modelado del relieve y una apreciación correcta de la significación y del interés relativo de los hechos visibles sobre el terreno. Exige también el empleo de un equipo instrumental costoso y adecuado. Desde los años 1920-1930, se viene utilizando para estos fines la fotografía aérea. Por estas razones, el trabajo rebasa en general al cartógrafo aislado, salvo en los casos, muy raros, de levantamientos de exploración, o de detalle a muy gran escala. Normalmente, los mapas de la Tierra son realizados por organismos potentes, más o menos oficiales, como el Institut Géographique National (IGN) en Francia.[1]

La elaboración de estos mapas debe ser precedida por medidas precisas, destinadas a establecer sobre el territorio estudiado una red de puntos de referencia, cuya posición esté rigurosamente determinada sobre el geoide: estas medidas constituyen las *operaciones geodésicas*. Viene después el *establecimiento de los mapas básicos*, que requiere operaciones topográficas de levantamiento sobre el terreno,

o a partir de fotografías aéreas, y operaciones cartográficas propiamente dichas, de redacción y reproducción. Los mapas básicos sirven a su vez para el establecimiento de *mapas derivados* y *mapas de compilación*. De este modo progresa lentamente nuestro *conocimiento cartográfico del mundo*, que está lejos aún de ser alcanzado. Un lugar aparte debe concederse a las *cartas náuticas*, a los *planos* a gran escala y a los *globos* terrestres, cuyo uso es más particular.

I. LA MEDIDA DE LA TIERRA. OPERACIONES GEODÉSICAS

La *Geodesia* tiene por objeto la determinación de la forma y dimensiones de la Tierra;[2] suele dividirse en geodesia general o científica, que se ocupa de la evaluación rigurosa de las relaciones geométricas existentes entre los diferentes puntos de la superficie terrestre, y geodesia regional o práctica, que permite establecer sobre un territorio dado una red de puntos materiales, de posición y altitud exactamente conocidas.

Las operaciones geodésicas son previas a la ejecución de todo mapa básico, es decir, de todo mapa topográfico fundamental. Consisten en situar con gran precisión, sobre la superficie a cubrir, referencias llamadas *vértices geodésicos*, a las cuales se refieren después todos los demás puntos observados. La geodesia general permite definir el elipsoide de referencia, superficie sobre la cual será trazado el mapa. La geodesia regional comprende esencialmente el cálculo de la posición de los puntos fundamentales, enlazados entre sí y a otros puntos intermedios por una red de triangulación, así como la determinación rigurosa de la altitud, o nivelación, del conjunto de puntos de dicha red.

A) *Determinación del geoide. Elipsoide de referencia*

Para medir la Tierra y determinar su forma, la geodesia dispone simultáneamente de cuatro clases de datos.

1. *Datos astronómicos*, algunos de los cuales son conocidos desde hace mucho tiempo.

La observación de la sombra de la Tierra sobre la Luna durante los

eclipses había inducido a los griegos a suponer la Tierra esférica. Sabían también calcular, con la ayuda del gnomon, la altura del Sol sobre el horizonte al mediodía, y deducir de ella la latitud de un lugar. Eratóstenes, en el siglo III a.J.C., calculó muy aceptablemente la circunferencia terrestre, por observación de la diferencia de latitudes entre Alejandría y Siena. Sin embargo, para obtener medidas correctas de longitud, fue preciso esperar hasta la invención del reloj de péndulo, a fines del siglo XVII.

Los avances conseguidos en el perfeccionamiento de los instrumentos de observación de los astros, y de medida del tiempo, fueron condiciones determinantes en el progreso del conocimiento exacto de las posiciones de puntos terrestres. Incluso en la actualidad, la astronomía de posición suministra a la geodesia importantes informaciones:

- sobre la forma general de la Tierra, por el estudio preciso de los movimientos propios del Planeta sobre su órbita (método de d'Alembert), o por el de las irregularidades de los movimientos de la Luna (método de Laplace); de ellos se dedujo un valor aproximado del achatamiento del elipsoide terrestre:
- sobre la determinación de la vertical de un lugar, lo que permite apreciar la eventual inclinación, en dicho lugar, de la superficie real del geoide, y por tanto calcular su altitud relativa, con relación a la del elipsoide teórico (geodesia tridimensional):
- sobre la orientación, o acimut geodésico, de la visual hacia una referencia terrestre, que puede ser el meridiano del lugar de observación.

2. *Datos geométricos*, procedentes de medidas efectuadas directamente sobre la Tierra, por triangulación y nivelación, como se indicará más adelante.

3. *Datos dinámicos*, o *geofísicos*, que se han ido estableciendo progresivamente a partir del siglo XVIII; esencialmente, se trata de datos gravimétricos.[3] El descubrimiento por Newton de la gravitación había abierto un método para el estudio de la forma del geoide, considerado como una de las superficies de nivel, o superficie equipotencial, del campo de pesantez terrestre. Las observaciones, hechas inicialmente por medio de péndulos, se multiplicaron en el curso del siglo XIX, mostrando un excelente acuerdo con los resultados de la geodesia geométrica. Hoy día la gravimetría, empleando técnicas más perfeccionadas, permite determinar con más rigor las deformaciones del geoide, con relación a la figura matemática general deducida por los métodos precedentes.

4. Datos de *geodesia espacial*, acumulados a partir de 1957, como consecuencia del prodigioso desarrollo de los medios de cálculo que han hecho posibles los ordenadores, al permitir el tratamiento de un volumen de observaciones antes nunca alcanzado. El lanzamiento de satélites especiales, llamados satélites agrimensores, ha inaugurado esta nueva etapa de la geodesia.

Algunos de estos satélites son simplemente pasivos, tipo PAGEOS *(Passive Geodesic Satellite)*, o tipo ECHO; constituyen miras o blancos que se visan simultáneamente, bien por medios ópticos o por láser, desde puntos terrestres distantes varios millares de kilómetros. Otros se llaman activos (tipo GEOS), porque emiten señales de radio, a intervalos regulares o mediante telecomando, que pueden ser captadas por las estaciones terrestres. Estas operaciones, extendidas a toda la Tierra, permiten multiplicar la determinación de estaciones terrestres, así como el enlace mutuo de los diferentes sistemas geodésicos continentales, a través de los océanos. Por otra parte, el estudio preciso de las trayectorias de los satélites permite afinar el conocimiento del campo de gravedad terrestre, conocimiento que ha de mejorar todavía por las medidas de distancia efectuadas sobre la Luna mediante los reflectores láser que han sido instalados en ella.

La integración de los resultados obtenidos por todos estos métodos tiene por objeto la definición del *geoide*, que se considera simbolizado por la superficie del nivel medio de los océanos, y su prolongación ideal bajo los continentes. Este geoide tiene una forma próxima a la de un elipsoide de revolución con achatamiento polar, pero difiere de él en altitud, a veces con diferencias de algunas decenas de metros. En la geodesia práctica, se reemplaza el geoide por un modelo matemático teórico, llamado *elipsoide de referencia*, o elipsoide convencional, al cual se refieren todas las medidas que ligan entre sí los diferentes puntos del espacio geográfico, y que sirve de base a los diversos sistemas cartográficos de proyección.

Las características del elipsoide de referencia han variado, naturalmente, a medida que se han ido adquiriendo nuevos conocimientos. El trabajo más notable en este sentido fue el realizado en los Estados Unidos, a finales del siglo XIX y principios del XX, tanto a partir exclusivamente de medidas astronómicas y geométricas (elipsoides de Clarke, 1866 y 1880), como por corrección de estas medidas con la ayuda de datos gravimétricos (elipsoide de Hayford, 1910, adoptado en 1924 como elipsoide internacional, con un achatamiento de 1/297 y un semieje mayor de 6.378.388 m). Desde entonces, la terminación de las medidas geodésicas en la URSS (elip-

soide de Krassovsky, 1948), y más tarde el análisis de los datos proporcionados por la geodesia espacial y la gravimetría moderna, han conducido a una nueva síntesis. El elipsoide de la Unión Astronómica Internacional (1963), adoptado en 1967 por la Asociación Internacional de Geodesia y Geofísica, ha sido ya citado al principio de esta obra (p. 1), siendo sus constantes:

$$\alpha = 1/298{,}25$$
$$R = \text{semieje mayor} = 6.378.160 \text{ m}$$
$$r = \text{semieje menor} = 6.356.770 \text{ m}$$

Estos parámetros serán probablemente los que se adopten, a partir de ahora, para el elipsoide internacional.

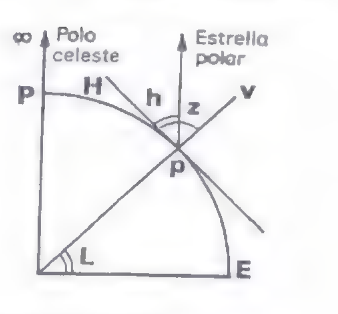
B) *El problema del punto*

Situar un punto es, en definitiva, determinar la posición geográfica de un lugar, a partir de referencias astronómicas. Esta determinación comprende dos medidas, la latitud y la longitud, que se expresan en unidades de arco, con relación a una red de coordenadas terrestres constituida por meridianos y de paralelos, cuyos orígenes son el Ecuador y un meridiano convencional, generalmente el que pasa por Greenwich (véase p. 38 y fig. 5).

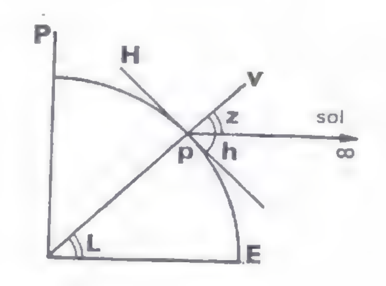
Esta operación requiere un conocimiento suficientemente preciso de la dirección, o acimut, del meridiano del lugar, que puede deducirse de la observación de una estrella circumpolar, en dos posiciones para las que la altura del astro sobre el horizonte sea la misma.

La *latitud*, L, de un lugar es igual a la altura del polo celeste sobre el horizonte. Su medida más precisa se obtiene por observación de la altura, *h*, (o de su complemento, la distancia cenital *z*) de la Estrella Polar en el momento de sus pasos por el meridiano (fig. 21, *a*), mediante un teodolito. En navegación, las observaciones se efectúan con sextante sobre el Sol a mediodía, introduciendo las correcciones correspondientes a las variaciones de la altura del astro (fig. 21, *b*) con el tiempo. Asimismo, deben introducirse otras correcciones para tener en cuenta la refracción de los rayos luminosos, a través de las capas densas de la atmósfera.

La *longitud*, M, de un lugar se obtiene comparando la hora local, deducida por observación del paso de un astro por el plano meridiano, con la hora en el meridiano origen, y sabiendo que un intervalo de una hora corresponde a una diferencia de longitud de 15 grados. La gran dificultad proviene del conocimiento exacto de la hora en el meridiano origen y en el mo-



a) Sobre la estrella polar



b) Sobre el Sol

FIG. 21. — *Medida de la latitud*

mento de la observación. Este problema fue resuelto, primeramente, por los relojes de péndulo; después, por los cronómetros, que conservan correctamente, y durante bastante tiempo, la hora origen. Hoy se utiliza para este fin la emisión regular de señales horarias por radio.

Todas estas medidas, cuando se pretende que sean rigurosas, resultan largas y delicadas. Sería molesto y costoso recurrir a ellas para determinar todos y cada uno de los puntos de la red de cordenadas necesaria para el levantamiento de un mapa, que comporta aproximadamente un punto por cada tres kilómetros cuadrados, para una hoja a 1:25.000. Por ello, estos métodos sólo se aplican a un pequeño número de estaciones bien escogidas: observatorios astronómicos, señales de navegación (faros, balizas-radio), orígenes y puntos de control de las triangulaciones. Sobre estos puntos de referencia se apoyan las restantes operaciones geodésicas.

C) *Triangulación*

La triangulación tiene por objeto fijar sobre la superficie a cartografiar la posición relativa, en distancia y en dirección, de los puntos fundamentales, o *puntos geodésicos*, que constituirán la red de coordenadas de referencia del mapa. Este método data de fines del siglo XVI y principios del XVII. Consiste en cubrir la superficie estudiada con una red más o menos densa de señales de referencia, dispuestas en triángulos, cuyo conjunto constituye una *cadena de triangulación*, orientada en una dirección general conveniente.

Según la densidad de cobertura, se distinguen varios órdenes jerárquicos en las cadenas. La red de primer orden consta de puntos tan alejados entre sí como sea posible, dentro de los límites de la precisión buscada; los lados de sus triángulos tienen normalmente de 25 a 40 km de longitud. La red de segundo orden es más densa, y se inscribe dentro de la anterior; sus vértices, distantes de 20 a 30 km, se enlazan directamente a los de primer orden. Las redes de tercer y cuarto orden se insertan del mismo modo en las precedentes, formando una malla aún más densa, con 2 o 3 km de distancia entre sus vértices (fig. 22).

Una cadena de triangulación requiere el establecimiento previo de una *base* de partida. La medida de esta base es una operación delicada y lenta, que antiguamente se efectuaba mediante jalones rigurosamente contrastados, constituidos por reglas rígidas, o por hilos flexibles de metal invar bajo tensión constante. Esta unidad se llevaba tantas veces como fuera necesario a lo largo de una línea recta de 8 a 12 km de longitud, trazada sobre un terreno plano, y con acimut perfectamente determinado. Mediante múltiples medidas de ida y vuelta, con dos o tres reglas o hilos diferentes, podía alcanzarse una precisión relativa del orden de la millonésima. Pero la necesidad de ampliar esta base por medio de una triangulación, hasta enlazarla con un lado, de 20 a 30 km como mínimo, de la cadena más próxima de primer orden, hacía que se perdiera en gran parte la precisión conseguida. Por ello, actualmente se prefiere el empleo de aparatos de medida directa de distancias, geodímetros y telurómetros,[4] que permiten verificar en cualquier momento la longitud de los lados de los triángulos de la cadena. En cualquier caso, los extremos de la base de partida, o del lado del primer triángulo de la cadena, deben estar enlazados a un *punto fundamental*, determinado por observación astronómica, origen de todas las coordenadas geográficas de la red. En Francia, este punto fundamental de la triangulación, o *"Datum"*, es el vértice de la cúpula del Panteón de París.[5]

Una vez medida la base, y establecido en consecuencia un lado del primer triángulo, en distancia y dirección, todas las demás operaciones se reducen a medidas de ángulos, efectuadas con teodolito.[6] A partir del punto de estación, se visan sucesivamente todos los demás puntos a él enlazados, haciendo lo que se llama una "vuelta de horizonte". Para mejorar la precisión, se obtienen los resultados como media de ocho a dieciséis vueltas sucesivas. Se procede del mismo modo para cada uno de los puntos de la cadena, verificando, a intervalos del orden de 200 km, la orientación y distancia de algunos lados de control. Estas observaciones permiten el cálculo de todos los triángulos de la cadena, teniendo en cuenta la curvatura terrestre,

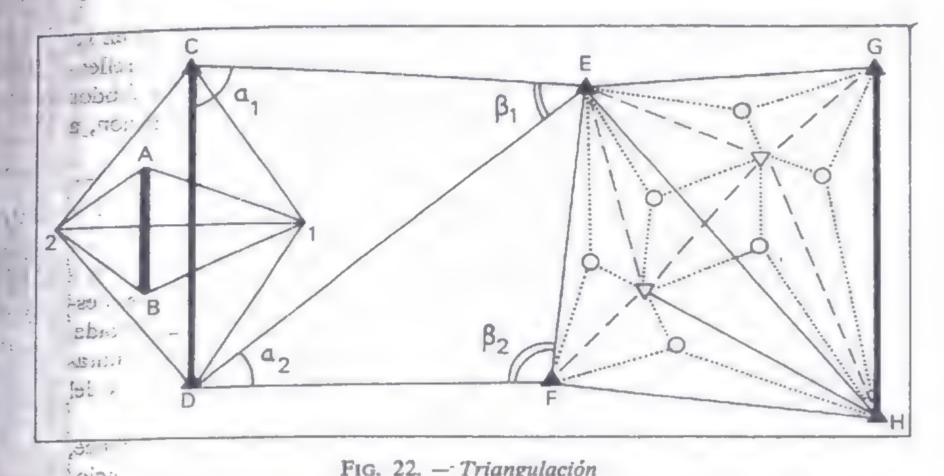


FIG. 22. — *Triangulación*

AB: base; 1, 2, C, D: triangulación de ampliación de base; CD, GH: lados medidos y orientados de la triangulación de primer orden; líneas de trazos: triangulación de segundo orden; líneas de puntos: triangulación de tercer orden.

$$ED = \frac{CD \text{ sen } \alpha_1}{\text{sen } \beta_1} \qquad EF = \frac{ED \text{ sen } \alpha_2}{\text{sen } \beta_2} = \frac{CD\ (\text{sen } \alpha_1 \text{ sen } \alpha_2)}{(\text{sen } \beta_1 \text{ sen } \beta_2)}, \text{ etc.}$$

$$GH = \frac{CD \prod_{i=1}^{4} (\text{sen } \alpha_i)}{\prod_{i=1}^{4} (\text{sen } \beta_i)}$$

y por tanto de la posición relativa de todos los puntos de la red, con una precisión del orden de 1:200.000 para las cadenas de primer orden (fig. 22).

La geodesia complementaria tiene por objeto rellenar esta red de primer orden con otras redes, cada vez más densas, apoyadas cada una sobre la precedente (fig. 22). Los aparatos modernos de medida directa de distancias ofrecen la ventaja de facilitar la ejecución de poligonales y levantamientos, empleando los métodos habituales de la topografía.

La geodesia aeronáutica y espacial está en vías de revolucionar la medida de bases, distancias y acimutes. Las observaciones consisten esencial-

mente en emisiones radar sobre balizas terrestres, o, por el contrario, en visuales desde el suelo sobre objetos volantes, luminosos, provistos de reflectores ópticos, o de otro tipo. La aplicación sistemática de estos métodos debe conducir al establecimiento de vastas redes de supertriangulación, a las que se enlazarán las redes continentales y regionales.

D) *Nivelación*

Se llama nivelación al conjunto de operaciones que tiene por objeto establecer la altitud de los puntos sobre la superficie de referencia del geoide, representada por el nivel medio de los mares. Suelen emplearse conjuntamente varios métodos, dependiendo de los medios de que se disponga y del grado de precisión que se desee alcanzar.

La *nivelación geodésica* es una nivelación indirecta de largo alcance, que utiliza medidas de ángulos verticales, efectuadas durante las operaciones de triangulación. Estas medidas dan el desnivel calculado, Δh, que es función de la distancia *geométrica*, L, medida entre las dos estaciones, y del ángulo de pendiente, α, observado con el teodolito:

$$\Delta h = L \text{ sen } \alpha$$

Para obtener la altitud exacta referida al elipsoide, es necesario además introducir en el cálculo una corrección que tenga en cuenta la desviación de la vertical, y la distancia horizontal o *reducida*, así como la refracción atmosférica y la curvatura terrestre. Como consecuencia de todos estos cálculos y correcciones, la precisión de la nivelación geodésica es muy inferior a la que se obtiene por medidas de menor alcance.

La *nivelación geométrica de precisión*, o nivelación directa, consiste en determinar las variaciones de nivel, Δh, entre puntos distanciados entre sí de 50 a 60 m, por medio de medidas sucesivas, a lo largo de itinerarios que se cierran sobre puntos conocidos de altitud cero. En Francia, el cero fundamental de la red nacional de nivelación viene dado por el mareógrafo de Marsella, que registra permanentemente la posición media del nivel del mar en este punto.[7] Existen otros mareógrafos de control en Dunkerke, El Havre, Cherburgo, Brest, La Palice y San Juan de Luz. En cada tramo de nivelación, las medidas se efectúan por lectura, mediante un *nivel ae anteojo horizontal*, del desnivel entre dos miras verticales situadas delante y detrás del aparato (fig. 33). Para obtener la altitud desconocida, hB, basta añadir a

la altitud conocida, hA, la diferencia, a-b, de las lecturas efectuadas sobre las dos miras:

$$hB = hA + (a - b)$$

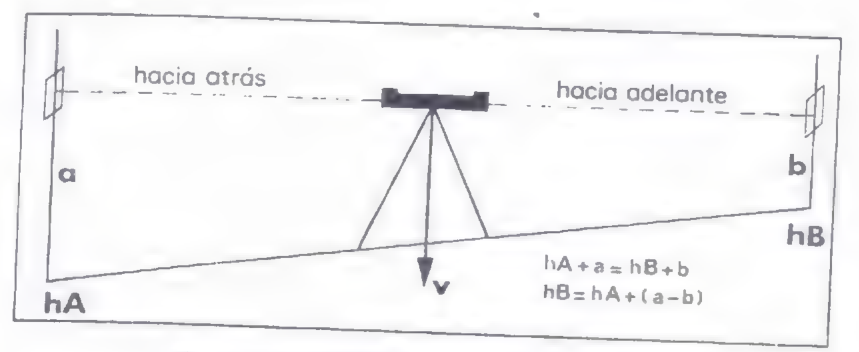


FIG. 23. — *Nivelación geométrica de precisión*

De este modo se establecen las redes nacionales de nivelación. En las de primer orden, se introduce además una corrección que es función del valor de la gravedad, g, en cada punto. Estas medidas son muy lentas, pero de gran precisión. Sobre un territorio tan extenso como el de Francia, los errores de cierre de las líneas de nivelación principales son sólo del orden de algunos centímetros.

La *nivelación trigonométrica* es una nivelación indirecta de corto alcance, que sólo se emplea cuando el itinerario directo resulta imposible, por ejemplo como consecuencia de una fuerte pendiente. Se obtiene entonces el desnivel en función del ángulo de elevación, o ángulo de pendiente, α, y de la distancia geométrica, L, o de la distancia reducida, S:

$$\Delta h = L \text{ sen } \alpha = S \text{ tg } \alpha$$

Dependiendo del valor del desnivel, la precisión varía desde algunos centímetros a algunos metros.

En los itinerarios de exploración, se utiliza a veces la *nivelación barométrica*, que se basa en la variación de la presión con la altitud, principio según el cual se construyen los altímetros de avión. Sin embargo, las variaciones atmosféricas obligan a adoptar importantes precauciones en este caso: observaciones recíprocas y simultáneas, en cada uno de los puntos considera-

dos; o corrección de la presión observada, en función de los datos registrados sobre su variación en algún observatorio cercano. La precisión puede entonces variar entre 1 y 10 metros.

La invención del radar ha permitido la generalización de un método comparable al de los sondeos marinos por medio del sonido. Se trata de la *nivelación por registro radar aerotransportado*, o *Airborne profile recording* (APR). La altimetría se obtiene por registro continuo de una sonda radar referida a la altitud de vuelo del avión, que se conoce por el altímetro barométrico. Este método se emplea para la nivelación rápida de territorios extensos y de difícil acceso, y permite una aproximación suficiente en el levantamiento de mapas de reconocimiento a mediana escala.

En estas redes de triangulación y de nivelación se apoyan todas las operaciones topográficas y cartográficas necesarias para el establecimiento de los mapas básicos.

II. ESTABLECIMIENTO DE MAPAS BÁSICOS

Los mapas representativos de la superficie terrestre pueden clasificarse siguiendo diferentes criterios:

1. Según la *naturaleza de la documentación* que se utiliza en la redacción del mapa:

Los *mapas básicos* son los que se obtienen directamente de medidas y levantamientos, sobre el terreno o sobre fotografías aéreas. Los documentos originales, croquis de campo o minutas de restitución, comportan todas las informaciones necesarias para la redacción definitiva, que se reduce a la puesta en limpio de dichos documentos. La calidad del mapa depende esencialmente de la precisión del levantamiento y de la fidelidad de la copia. Ejemplo: el mapa básico de Francia a 1:20.000, o a 1:25.000.

Los *mapas derivados* se obtienen a partir de los mapas básicos, por reducción de escala y generalización gráfica de sus trazados y símbolos figurativos. Ejemplo: el mapa de Francia a 1:50.000.

Los *mapas de compilación* corresponden sobre todo a regiones donde los levantamientos topográficos son fragmentarios, o están poco avanzados. Para su redacción se utilizan documentos de época, con formatos y precisiones diversos, que es necesario criticar, interpretar, confrontar, completar y fusionar en un conjunto homogéneo. Su valor depende de los conocimientos y de la habilidad del compilador. Ejemplo: algunas hojas del Mapa del Mundo a 1:100.000.

2. Según la *precisión de los levantamientos*, con vistas a la presentación definitiva del mapa:

Se llama *mapa regular* a aquél en que los errores de las operaciones de campo son siempre inferiores al error gráfico del dibujo. Si se estima el error gráfico en 0,2 mm, esto significa que para un mapa regular a 1:20.000, por ejemplo, el error de observación no deberá exceder jamás de 4 m; dentro de estos límites, existe una rigurosa correspondencia entre las posiciones representadas sobre el mapa y las posiciones reales en el espacio. De hecho, un mapa regular difícilmente puede realizarse a una escala inferior a 1:100.000.

Los mapas que no responden a estas condiciones son *mapas expeditos*; por ejemplo, los mapas de exploración, los levantamientos por itinerarios, los mapas de reconocimiento, etc.

3. Según *la escala*, que garantiza un cierto grado de exactitud y de precisión:

Se llaman mapas a *muy gran escala*, o *planos*, a aquellos cuya escala es superior a 1;10.000. A menudo, carecen de nivelación, como ocurre en los planos catastrales, o están simplemente acotados, sin curvas de nivel.

Los mapas a *gran escala* (de 1:10.000 a 1:25.000), y los mapas a *media escala* (de 1;50.000 a 1:100.000), suelen tener planimetría y nivelación. Ya sean regulares o expeditos, contienen normalmente todos los detalles necesarios para un estudio minucioso del terreno. A esta clase pertenecen los verdaderos *mapas topográficos*.

Los mapas a *pequeña escala* (inferior a 1:100.000) no pueden denominarse "mapas topográficos", ni por su precisión ni por sus aplicaciones. Sólo los puntos principales están situados sobre ellos, y muchas de sus representaciones son puramente convencionales. A este grupo pertenecen los *mapas corográficos* y los *mapas de conjunto*.

Entre los mapas topográficos, los básicos son los más precisos y completos que se deducen de la observación inmediata de los fenómenos. La ejecución de un mapa básico que cubra toda la extensión de un país, como Francia, por ejemplo, requiere una serie de operaciones sobre el terreno, en gabinete y en taller, que puede describirse como sigue:

1. Operaciones topográficas

Las operaciones topográficas consisten, primero, en determinar rigurosamente la posición de cada uno de los puntos característicos de la superficie a cartografiar, por referencia a la red de coordenadas geográficas obtenida por métodos geodésicos; después, en representar gráficamente los detalles y las formas del terreno, en un sistema de proyección apropiado, a una escala dada, y según una leyenda convencional.[8] Estas operaciones son de dos tipos:

— Las *operaciones planimétricas*, o de levantamiento del plano, que consisten en la determinación y transcripción sobre el mapa de los contornos figurativos de los objetos concretos, naturales o artificiales, permanentes o temporales, que existen sobre el terreno cuando se efectúa el levantamiento.

— Las *operaciones altimétricas*, o nivelación, que consisten en la determinación de las altitudes, o cotas, de los puntos característicos ya situados planimétricamente.

En la actualidad, se emplean simultáneamente dos clases de métodos topográficos: los *métodos topográficos clásicos*, por *levantamiento directo sobre el terreno*; y los *métodos de fototopografía*, o *métodos fotogramétricos*, por tratamiento y explotación de una cobertura aérea estereoscópica. Hay que hacer constar que estos últimos preponderan, cada día más, sobre los primeros.

A) *Topografía clásica, por levantamiento sobre el terreno*

Las operaciones topográficas sobre el terreno son relativamente simples en sus principios, aunque muy delicadas de realizar en la práctica. Esencialmente, se reducen a medidas de distancias y de ángulos o direcciones, que pueden ser trasladadas inmediatamente al croquis de campo y a la minuta, o bien registradas en un cuaderno, para su tratamiento en gabinete. Esto es lo que constituye la *topometría*, es decir, la parte puramente geométrica del trabajo. Pero estas operaciones van también acompañadas de otras más subjetivas, que constituyen la *topografía* propiamente dicha, y persiguen la representación de las formas del relieve de una forma tan precisa y evocadora como sea posible. Estas dos fases están estrechamente ligadas entre sí durante la ejecución del mapa, y conducen a la redacción de una *minuta topográfica*, establecida directamente a partir de las observaciones sobre el terreno.

Medida de distancias

Este tipo de medidas puede efectuarse directamente, con cadena de agrimensor o cinta métrica de acero, de diez a veinte metros. La precisión que así se obtiene es del orden de 1:2.000, o incluso de 1:1.000, es decir, de uno a dos metros por kilómetro. En el caso de itinerarios, o de distancias cortas, se emplea a veces la medida a pasos, contrastando previamente el valor de cada paso sobre una longitud conocida y horizontal. Pero la precisión decrece entonces hasta 1:50, es decir, dos metros por cien.

Lo normal, sin embargo, es recurrir a medidas indirectas, utilizando instrumentos estadimétricos, cuya precisión se acerca a la de la cinta métrica de acero. La *estadimetría* consiste en *visar* una mira, o *estadía*, cuya imagen se forma sobre un plano focal, T, en el que se proyecta una escala graduada. La distancia, D, (fig. 24) se deduce de la abertura del ángulo estadimétrico, α, que expresa la relación entre la altura, H, de la mira y la dimensión, h, de su imagen:

En el caso de un anteojo de distancia focal f:

$$D = f \times \frac{H}{h}$$

En el caso de una alidada vertical:

$$D = \frac{H}{\operatorname{tg} \alpha}$$

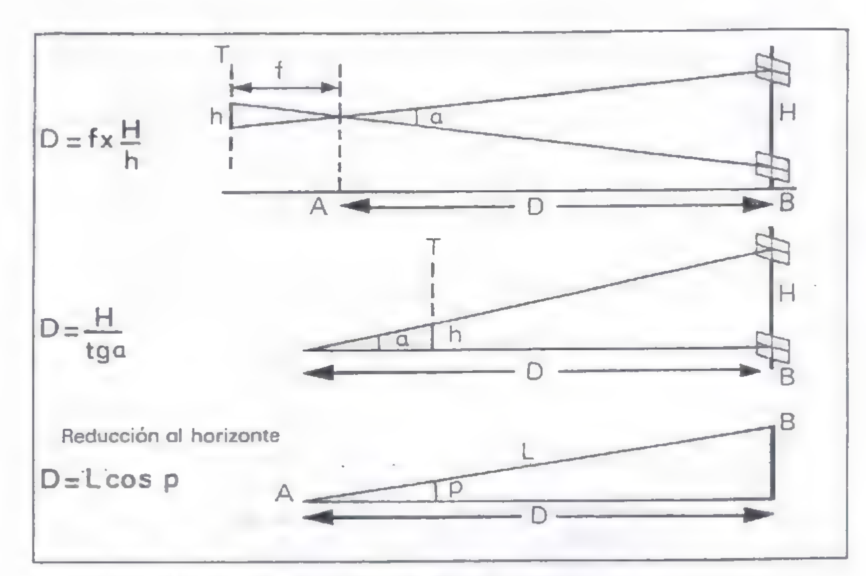


FIG. 24. — *Medida de distancias*

En algunos instrumentos, el ángulo estadimétrico α es constante, y la distancia se lee directamente sobre una mira graduada llamada *mira parlante*, colocada verticalmente en un extremo de la longitud a medir. En otros instrumentos, es la longitud de la mira (en general dos metros) la que es invariable, leyéndose la distancia en función del

tamaño de su imagen, sobre la escala graduada del retículo del anteojo.

La distancia geométrica, L, medida sobre la pendiente de la visual, debe ser reducida al horizonte (fig. 24), en función del ángulo de pendiente, p:

$$D = L \times \cos p$$

Algunos aparatos, llamados *autorreductores*, dan automáticamente esta distancia reducida. Se emplean también, aunque más raramente, telémetros ópticos, en los que puede leerse la distancia D, llevando previamente a coincidencia dos imágenes del objeto visado. Y, por último, citaremos los instrumentos de medida directa de distancias del tipo de los telurómetros y geodímetros, utilizados en geodesia.

Medidas de ángulos

Las medidas de ángulos sobre el plano horizontal, o ángulos acimutales, se efectúan con relación a una dirección de referencia, que puede ser una dirección cualquiera ya conocida o la del norte magnético, dada por la brújula. Existen dos tipos de medidas de ángulos, y correspondientemente de los instrumentos destinados a realizarlas: las *goniográficas*, que permiten tratar directamente sobre el croquis de campo la dirección observada, y las *goniométricas*, en las que se anota el valor del ángulo medido, para trasladarlo después a la minuta en gabinete.

El accesorio indispensable para toda medida goniográfica es la *plancheta*; consiste en un pequeño tablero móvil, de 40 × 50 o de 50 × 60 cm, montado sobre un trípode regulable, que le permite colocarse en posición horizontal y orientada a voluntad. Sobre este tablero se fija la hoja de papel en la que ha de dibujarse la minuta. La primera operación consiste en poner la plancheta "en estación", es decir, sobre la vertical del punto de observación y con una orientación prefijada. La puesta en estación y la horizontalidad de la plancheta se consiguen mediante una plomada y un nivel de burbuja. Su orientación se obtiene por medio de visuales sobre puntos conocidos,

o con la ayuda de una declinatoria, instrumento dotado con una aguja imantada que puede ser llevada, entre dos referencias, a una posición en que los bordes de la caja que la contiene son paralelos al Norte magnético (fig. 25). Para orientar definitivamente la minuta con respecto al Norte geográfico, habrá que tener en cuenta, naturalmente, las variaciones, locales y temporales, de la declinación magnética.

El instrumento óptico típico de las medidas goniográficas es la *alidada de nivel*; en su forma más sencilla, está constituida por una regla graduada, de veinte a treinta centímetros, provista de un nivel horizontal. En los extremos de esta regla existen dos plaquetas metálicas verticales, una de las cuales lleva una ventanilla visora, y la otra un hilo tenso, que sirve para materializar la visual.[9] Por construcción, el eje de la visual es paralelo al borde de la regla; basta pues con colocar ésta sobre la plancheta, haciendo coincidir su borde con el punto *s*, que representa en la minuta el punto de estación, y apuntar al objetivo: la recta trazada a lo largo de la regla, y que pase por *s*, pasará también por el punto visado (fig. 25). Por medio de unas graduaciones grabadas sobre la plaqueta que contiene el hilo vertical, la alidada permite también efectuar medidas de distancias sobre una estadia, así como medidas de pendientes, en grados o en porcentajes.

Si se combina con una brújula, la alidada de nivel constituye una *brújula topográfica*, instrumento muy útil para levantamientos rápidos. Las alidadas de anteojo, *alidadas holométricas* y *eclímetros*, llevan igualmente una regla para el trazado de direcciones, pero la puntería se efectúa a través de un anteojo de aumento, que puede moverse también en el plano vertical, para la medida de ángulos de elevación, y está provisto de un retículo y de un cuadro focal, para la lectura directa de distancias y pendientes.

Los instrumentos goniométricos son, en general, más perfectos y precisos. Los más corrientes son el *teodolito*, empleado también en geodesia, instrumento de anteojo que permite medir a la vez ángulos horizontales y verticales, y el taquímetro, que es un teodolito provisto de una declinatoria y de un anteojo preparado para la medida estadimétrica de distancias.

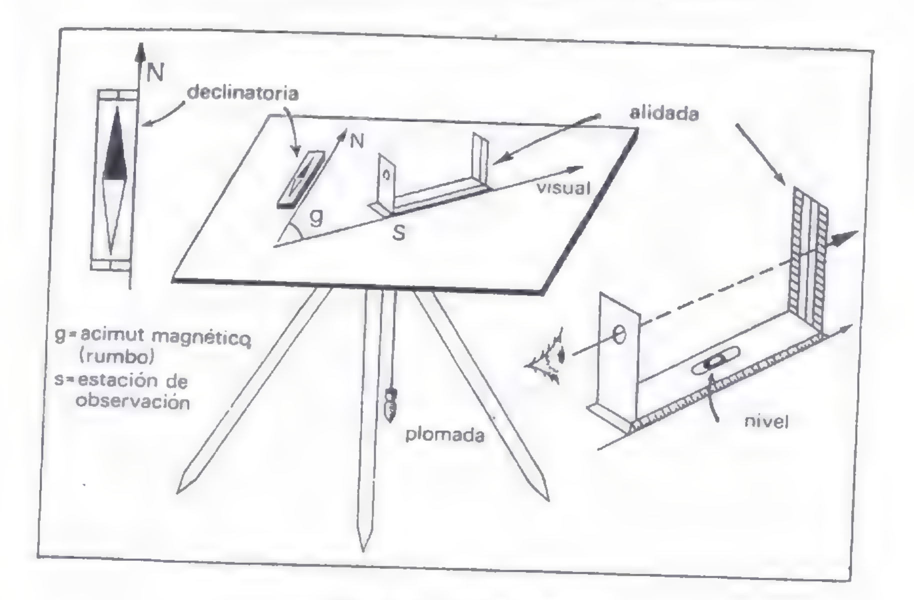


FIG. 25. — *Goniografía*

Métodos de levantamiento

Un punto cualquiera del paisaje se sitúa planimétricamente por referencia a otros puntos ya conocidos. Al mismo tiempo, se determina la actitud de estos puntos por los métodos ya descritos de nivelación geométrica o trigonométrica (pp. 128-129). En primer lugar, se trata de obtener, por *triangulación gráfica*, una densidad suficiente de puntos conocidos, para que los enlaces de detalle no excedan de 4 o 5 cm, a escala, es decir, 400 o 500 m, a 1:10.000, sobre el terreno. Según los casos, se emplea alguno de los procedimientos siguientes (fig. 26):

— La *radiación*, que consiste en estacionar en un punto, A, conocido, desde donde se visan sucesivamente los puntos a determinar, *m*, *n*, *p*, midiendo para cada uno su acimut y su distancia.

— La *trisección inversa*, que consiste en estacionar sobre un punto desconocido, *m*, desde donde se visan, al menos, tres puntos conocidos, A, B, C, por los cuales se hacen pasar las visuales observadas. Estas visuales se cortan teóricamente en el punto de estación, *m*; pero, en la práctica, formarán una pequeña zona triangular, cuyo centro se adoptará como posición del punto *m*.

— La *intersección directa*, que permite determinar un punto desconocido, *m*, a partir de visuales desde tres puntos conocidos, A, B, C. También aquí se forma en general una zona de intersección, que se resuelve como en el caso precedente.

— El *itinerario*, que consiste en determinar sucesivamente los puntos *m*, *n*, *p*, de una línea poligonal. El itinerario puede quedar abierto en un punto desconocido, o cerrarse sobre el punto de partida. En este último caso, el cierre constituye una verificación, cuyo error, ε , debe ser pequeño, y todos estos cierres deben tender a compensarse en un conjunto de itinerarios enlazados.

En el interior de la red de puntos así situados, se efectúa el levantamiento de los detalles planimétricos (vías de comunicación, cursos de agua, construcciones, ciertos límites de ocupación del suelo, etc.). Al mismo tiempo, se procede a la representación de las formas del relieve, apoyándose en la red altimétrica procedente de la triangulación; pero esta operación requiere algunas operaciones complementarias, y especialmente el trazado de un cierto número de curvas de nivel con equidistancia conveniente (5 m en llano y 10 m en montaña, para el mapa de Francia a 1:25.000). Sobre el terreno, las curvas de nivel se establecen por itinerarios o por radiación, a partir de puntos conocidos de altitud similar.

Las curvas de nivel deben describir adecuadamente los "movimientos de terreno", es decir, los caracteres cualitativos del modelado. Esto depende del talento personal y de los conocimientos geomorfológicos del operador. Sin embargo, los topógrafos han comenzado a preocuparse de la geomorfología, a lo que hoy se denomina topología.[10] Hoy, esta disciplina suele incluirse en su formación, no solamente bajo la forma clásica (estructural, fluvial, glacial, eólica, litoral), sino también en la más sutil de la dinámica de vertientes.

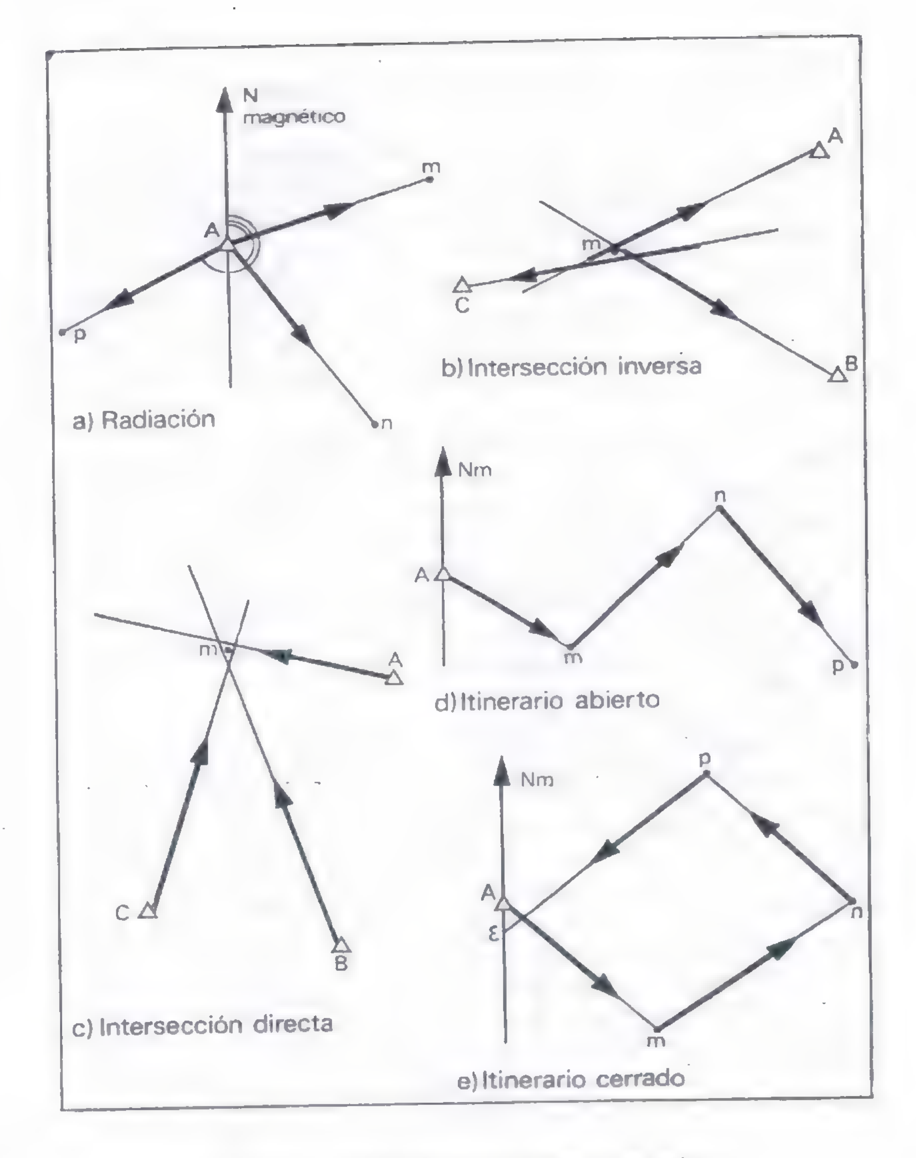


FIG. 26. — *Métodos de levantamiento topográfico*

Variaciones de los levantamientos con la escala

La elección de los instrumentos y métodos de levantamiento depende de la precisión deseada, de las dificultades del terreno y de la escala del dibujo. La escala del levantamiento es siempre dos veces, o dos veces y media, superior a la escala del mapa definitivo, y esto con objeto de reducir la importancia de los inevitables errores gráficos. Por esta razón, los mapas a 1:80.000 se levantan a 1:40.000; los mapas a 1:20.000 o 1:25.000 se levantan normalmente a 1:10.000; y los mapas a 1:50.000, se levantan a 1:20.000 o 1:30.000.

Más tarde se tratará el caso de levantamiento de planos a muy gran escala. Los de mapas a gran escala se efectúan por itinerarios con plancheta, a partir de una red muy densa de puntos, obtenida mediante triangulación complementaria con teodolito y triangulación gráfica con taquímetro. La representación de los detalles y de las curvas de nivel se realizan directamente en la minuta, sobre el terreno. Un buen operador, en una región medianamente accidentada, puede levantar así de 300 a 400 hectáreas por mes, a escala 1:10.000.

En el caso de levantamientos expeditos o de reconocimiento, a media o pequeña escala (1:100.000 o 1:200.000), puede servir de apoyo una red geodésica menos rigurosa, o incluso un conjunto de puntos astronómicos con nivelación barométrica. Si se quiere aumentar la precisión, se empleará el teodolito en intersecciones directas o inversas. El levantamiento de detalle se hace con plancheta, en un radio de 2 a 3 km; no se persigue expresamente el levantamiento de las curvas de nivel, que se trazan sólo aproximadamente, con fines más figurativos que geométricos, a equidistancias aproximadas de 20 a 50 m. El sentido del terreno juega aquí para el topógrafo un papel tan importante, al menos, como su técnica. Pero en cambio las operaciones de campo pueden realizarse rápidamente; en los levantamientos de reconocimientos del Sáhara, a 1:200.000, el rendimiento medio fue de 2.000 a 2.500 km² por mes. Sin embargo, en la actualidad este tipo de levantamiento está prácticamente abandonado, y ha sido ventajosamente sustituido por los métodos fotogramétricos de la topografía.

B) *Fotogrametría*

La fotografía aérea, hoy completada por la fotografía desde satélites, ha abierto una nueva fase en la exploración y representación de la Tierra. En efecto, puede decirse que lleva el terreno al gabinete, y proporciona una imagen global de la superficie terrestre sobre la que es visible todo aquello que marca o ha marcado el suelo con una huella duradera. Suministra en un tiempo muy corto una gran cantidad de informes detallados, precisos y mensurables, que pueden ser examinados prolongada y cuidadosamente, y sometidos a una explotación técnica profunda. Por ello, ha llegado a ser el complemento indispensable, y a menudo la única fuente, de todo trabajo cartográfico a gran y media escala (e incluso a pequeña escala, por medio de los satélites); esto vale tanto para la cartografía topográfica como para la temática.[11] Se llega así a la redacción de *minutas fotogramétricas*, o *minutas de restitución*, cuya ejecución es más rápida, y sin embargo tan precisa como la de las minutas sobre el terreno.

Características de las fotografías aéreas

El impulso fundamental de la fotografía aérea data de la primera guerra mundial; inmediatamente después comenzó el establecimiento de coberturas aéreas exhaustivas, que abarcan territorios nacionales. Estas coberturas tienen un gran interés documental, puesto que suministran un cuadro completo, sintético y periódicamente renovable, del estado actual de la superficie del suelo, que incluye a la vez el entorno físico, el histórico, el humano y el económico, y permite evaluaciones cuantitativas de superficies, desniveles, pendientes, distancias, censos, densidades, etc.

Las fotografías utilizadas para la cartografía topográfica son esencialmente tomas verticales en blanco y negro, o excepcionalmente en color, sobre emulsión pancromática o infrarroja, según las

necesidades de la interpretación. La escala, E, de los clisés es función de la altitud de vuelo, H, y de la distancia focal, *f*, de la cámara fotográfica (fig. 27):

$$E = \frac{1}{\frac{H}{f}}$$

Esta escala varía según el objetivo que se persiga. En cartografía básica, se emplean normalmente fotografías a 1:25.000 o a 1:30.000 para mapas a 1:5.000 y 1:20.000, o fotografías a 1:40.000, e incluso a 1:80.000, para mapas a 1:50.000 y 1:200.000.[12] Las cámaras métricas en uso proporcionan sobre cada clisé las referencias necesarias para determinar el centro de la foto, *punto principal* o *nadir*, que desempeña un papel fundamental en su explotación, así como algunos datos complementarios como la hora de la toma, la altitud de vuelo, la posición de la vertical, y los números de la observación y del clisé. Las fotografías se toman mediante registro continuo, a intervalos regulares y a lo largo de bandas paralelas, que se solapan aproximadamente en un 30 %. Cada toma de una banda presenta, además, un solape del 60 % en el sentido de vuelo, de modo que sea posible sobre cada dos tomas sucesivas el examen estereoscópico (fig. 27).

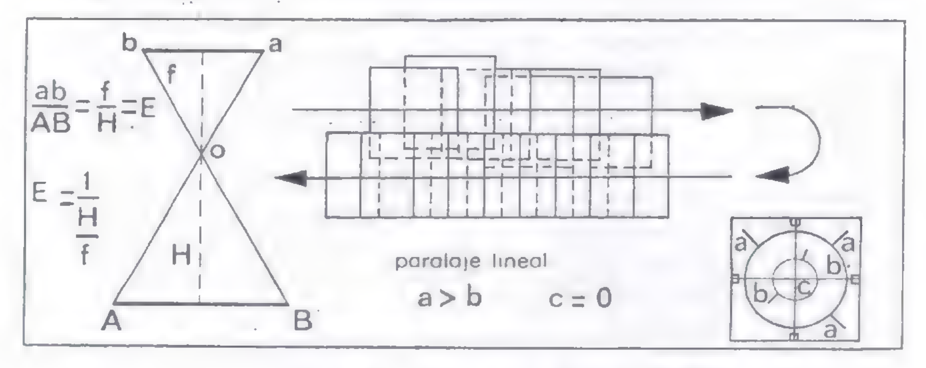


FIG. 27. — *Fotografías aéreas*

La imagen fotográfica obtenida no es un plano, sino una perspectiva cónica, que tiene por centro el objetivo del aparato. De aquí resulta toda una serie de inconvenientes que hay que tener en cuenta en la utilización de los clisés. El único punto de la fotografía que no sufre deformación es el punto principal: un objeto vertical se proyecta en él según un punto. En todos los restantes, los objetos verticales aparecen como torcidos hacia el exterior del clisé, con una dimensión llamada *paralaje lineal*, que es tanto mayor cuanto más alejado del centro está el objeto (fig. 27). Otra causa de perturbación es el relieve: cuanto más fuertes son los desniveles, más varía la escala entre las distintas partes de la fotografía. Todavía es necesario añadir las deformaciones debidas a la falta de verticalidad del eje óptico, y a las variaciones de altitud o de rumbo provocadas por los movimientos del avión, así como a las imperfecciones del sistema óptico, a la refracción atmosférica, a la curvatura de la Tierra, etc.

Por todas estas razones, una fotografía aérea no puede en ningún caso ser considerada como un mapa, y es imposible efectuar medidas correctas sobre un clisé aislado. Cualquier ensamblaje de fotografías, cualquier dibujo ejecutado directamente sobre ellas, no es más que una burda aproximación sin ningún valor geométrico. Para establecer correctamente mapas, a partir de fotografías aéreas, es necesario someter éstas a un examen por pares con estereoscopio, e introducir un cierto número de correcciones, cuyo conjunto constituye lo que se denomina *restitución*.

Examen estereoscópico de las fotografías aéreas

Dos fotografías aéreas sucesivas de una misma banda, tomadas con un solape del 50 al 60 %, constituyen un *par*, o *estereograma*, cuya parte común puede examinarse estereoscópicamente, es decir, por fusión binocular.

La visión estereoscópica se basa en el hecho de que, debido a la separación existente entre los ojos, el aspecto de un mismo objeto difiere, según se observe con el derecho o con el izquierdo. La fusión en el cerebro de las dos imágenes restituye el objeto en sus tres dimensiones, tal como aparece en la realidad. Ahora bien: cada par de

fotografías sucesivas puede ser considerado como dos imágenes ópticas, tomadas desde los extremos de una base igual a la distancia recorrida por el avión entre ambas tomas, como si se hubiese aumentado desmesuradamente la separación entre las pupilas del observador. Se obtiene la visión estereoscópica cuando las dos imágenes de un par se observan al mismo tiempo, y separadamente, por cada ojo, de manera que se superpongan una a otra a la distancia de clara visión. El relieve se hace entonces perceptible. El objeto de los estereoscopios es permitir prácticamente esta reconstitución de la visión binocular, una vez establecidas las convergencias adecuadas.

El par es la unidad de base de cualquier explotación de fotografías aéreas verticales. Su examen permite obtener una imagen plástica del terreno, es decir, una percepción (por otra parte exagerada) del relieve, y efectuar correctamente referencias, identificaciones, levantamientos y medidas. Para ello, es necesario proceder del siguiente modo (fig. 28):

1. Determinar primero los centros, A y B, o puntos principales, de cada una de las fotografías del par, por intersección de las líneas que unen las imágenes de las referencias de la cámara métrica sobre el marco de las fotos.

2. Buscar en ambos clisés los puntos homólogos de los dos centros: *a* para A, y *b* para B.

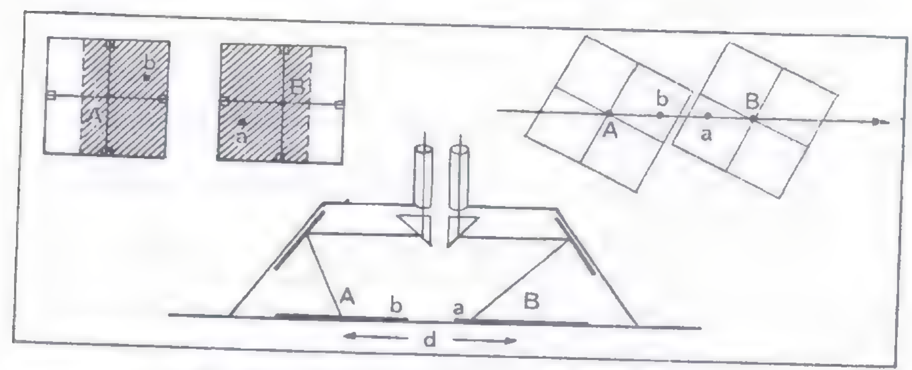


FIG. 28. — *Acoplamiento de un par estereoscópico*

3. Disponer los dos clisés sobre una superficie plana, con las zonas de solapamiento orientadas la una hacia la otra, y con las sombras dirigidas, en la medida de lo posible, en dirección opuesta a la luz de que dispone el observador, para conseguir el mejor efecto plástico.

4. Alinear sobre una misma recta los puntos representativos de los centros y de sus homólogos, de forma que pueda reconstituirse la línea de vuelo.

5. Colocar el estereoscopio a caballo sobre la línea así definida, con la recta que une los centros de los objetivos dispuesta paralelamente a ella.

6. Trasladar los clisés, el uno con relación al otro, a lo largo de esta línea, hasta que los dos centros estén a la distancia, *d*, conveniente para que la visión del relieve sea clara.

Fotogrametría aérea

La fotogrametría es el conjunto de métodos y procedimientos que permiten efectuar medidas sobre un estereograma.[12 bis] La fotogrametría aérea, nacida de la fotogrametría terrestre a fines del siglo pasado, ha experimentado un desarrollo paralelo al de la observación aérea, y ha necesitado la elaboración de una teoría difícil, puesto que utiliza muchas más incógnitas que las necesarias en las operaciones terrestres. Su gran impulso data de la década de 1920 a 1930. Actualmente ocupa un lugar de privilegio entre los métodos cartográficos, y el advenimiento de los ordenadores, con las correspondientes posibilidades de automatización, le aseguran un brillante porvenir.

Si se adoptan ciertas precauciones indispensables, la fotogrametría se convierte en un procedimiento fiel y preciso para trasladar sobre un plano todos los detalles visibles en las fotografías. Las operaciones de *estereofotogrametría*, que conducen, partiendo de un estéreograma, a la ejecución de un mapa que es una verdadera proyección ortogonal del modelo, consisten esencialmente en:

1. Restablecer la verticalidad exacta de la red perspectiva de las fotografías, cada una de las cuales ha sido tomada según ejes con

inclinaciones diversas. Esta operación se llama *rectificación*, y tiene por objeto eliminar las variaciones de escala, debidas a la inclinación de los ejes ópticos. Hay numerosos procedimientos de rectificación, ya sea por fotografía o con la ayuda de una cámara clara; todos ellos consisten en hacer coincidir cuatro puntos conocidos del plano con sus homólogos sobre el clisé. En los aparatos modernos, basta con disponer las fotos en el porta-clisés, de modo que se restablezca su posición relativa y con relación al suelo, tal y como era en el momento de la toma.

2. Eliminar las deformaciones producidas por la perspectiva, para poder situar exactamente sobre el plano los detalles del clisé. Esta operación se denomina *restitución*, y puede efectuarse con la ayuda de medios gráficos simples, basados en las leyes de la perspectiva. En los restituidores modernos, la superficie a representar viene definida como intersección de dos haces perspectivos, cuyos puntos de vista son los correspondientes a las dos fotografías del par. Todo punto de la superficie está en la intersección de los dos radios homólogos pertenecientes a cada uno de los haces. La dificultad consiste en materializar convenientemente los dos haces perspectivos, y puede resolverse por procedimientos mecánicos o electrónicos; conseguido lo cual, un trazador, ligado a un índice que se desplaza sobre la imagen plástica, permite efectuar un dibujo continuo.

3. Efectuar medidas de puesta en escala, aplicando la fórmula definida anteriormente, y medidas de desnivel entre puntos, utilizando la diferencia de paralaje lineal existente entre ellos. Éste es el objeto de aparatos relativamente simples, pero de empleo delicado, que pueden estar incorporados o no al restituidor, como los estereomicrómetros o barras de paralaje, que permiten deducir la diferencia de altitud entre dos puntos a partir de su separación en el estereograma.

En la práctica, muchos de estos métodos son de aplicación limitada, y muy lentos cuando no están coordinados. La realización de mapas básicos exige un equipo muy perfeccionado de trazado continuo; existen instrumentos clasificados como de primer, segundo o tercer orden, según su precisión y según las necesidades, en todos los organismos que utilizan la fotogrametría.

Levantamientos fotogramétricos

El levantamiento fotogramétrico completo de una región exige, antes que nada, una importante preparación sobre el terreno, destinada a suministrar al restituidor un mínimo de cuatro puntos por cada clisé, es decir, aproximadamente un punto cada dos kilómetros cuadrados. Esta *estereopreparación* se efectúa, en los mapas regulares, por triangulación sobre el terreno. En los de reconocimiento, se procede por aerotriangulación, combinando las siguientes operaciones:

1. Determinación sobre el terreno de una red de puntos astronómicos con altitudes barométricas, distantes entre sí unos cincuenta kilómetros.
2. Toma de fotografías en bandas paralelas, teniendo gran cuidado en cuanto se refiere a la regularidad de vuelo y al mantenimiento de la altitud en todo el itinerario. Con objeto de disminuir el equipo necesario sobre el terreno y el número de fotos, se emplean preferentemente cámaras con objetivos de gran abertura, que permiten tomas a media escala y gran altitud, cubriendo la mayor superficie posible en cada fotografía.
3. Realización, en una segunda etapa, de *perfiles aéreos*, dirigidos por radiogoniometría y ejecutados perpendicularmente a la orientación de las bandas fotográficas, con registro continuo, mediante radioaltímetro, de los desniveles, referidos a la altura de vuelo.
4. Ejecución de una triangulación por enfilaciones radiales (TPFR), cuyo principio consiste en asimilar todo ángulo en el centro de una fotografía aérea con el ángulo correspondiente que hubiera sido medido sobre el terreno con un teodolito. Esta triangulación se apoya en los puntos astronómicos conocidos, y permite definir un número suficiente de puntos complementarios.

La confrontación de las fotografías aéreas con la red de puntos de control así establecida condiciona el ensamblaje de los clisés y el consiguiente dibujo de las minutas fotogramétricas. Entre éstas, pueden distinguirse:

— Los *mosaicos*, que son montajes de fotografías recortadas del

mejor modo posible, para que constituyan un conjunto sin discontinuidades. Los mosaicos ordinarios tienen todos los defectos de las fotografías aisladas; sólo proporcionan una visión general del terreno, sin posibilidad de efectuar medidas. Los mosaicos controlados son también ensamblajes de fotografías, pero apoyados sobre una TPFR, lo que autoriza eventualmente a extraer de ellos croquis sumarios de reconocimiento.

— Los *fotoplanos*, que son mosaicos de fotografías previamente transformadas y llevadas a una escala media común. Proporcionan una imagen expresiva y correcta de la planimetría. En terrenos poco accidentados, pueden servir de base para la realización de mapas expeditos; son muy utilizados en urbanismo, para la redacción de anteproyectos.

— Las *minutas fotogramétricas* constituyen el documento primitivo de verdaderos mapas y planos. La red de puntos base de la restitución está constituida por el traslado integral, sobre una hoja de proyección, de todos los puntos de coordenadas conocidas, ya sea por las operaciones geodésicas sobre el terreno o por aerotriangulación. Esta red se completa con detalles obtenidos por restitución gráfica, punto por punto, o bien con la ayuda de aparatos de restitución continua. Se obtiene así una representación planimétrica, y si se desea también altimétrica, exacta, pero muda, que debe ser verificada y completada sobre el terreno.

La fotogrametría, que estuvo restringida en sus comienzos a la revisión de los mapas ya existentes y a la situación en ellos de nuevos detalles, ha llegado a constituir la base esencial de la cartografía topográfica moderna. En efecto, gracias al desarrollo de equipos constantemente perfeccionados, une a la exhaustividad y facilidad de manejo de los documentos unas cualidades de precisión iguales, o incluso superiores, a las de los procedimientos clásicos. A esto añade una gran homogeneidad del levantamiento, debida a la intervención de un número menor de operadores en una superficie mayor. En fin, cuando el programa está bien organizado, la fotogrametría permite una mayor rapidez de ejecución, y por tanto un mayor rendimiento y un menor coste en la elaboración de mapas de regiones extensas.

2. Operaciones cartográficas

Las operaciones cartográficas tienen por objeto la redacción de los mapas definitivos, a partir de las minutas topográficas o de restitución, así como la preparación de las planchas de tirada para la impresión y difusión pública.

Estas operaciones exigen, en el caso de los mapas básicos, sobre los que hay que efectuar medidas, un especial cuidado en la ejecución del dibujo y una gran homogeneidad en la presentación.

A) *Operaciones preliminares*

Por muy perfectas que sean, las minutas no suelen ser publicadas tal y como se obtienen, salvo cuando se trata de mapas de reconocimiento, o de ediciones provisionales de mapas regulares. Lo normal es que las minutas vuelvan a dibujarse, para conseguir mejor uniformidad de factura y dibujo. Esta redacción se efectúa en un marco geométrico preciso, y en una zona determinada.

La elección de la *escala* de los mapas básicos depende de su destino y de sus condiciones de establecimiento. Este tipo de mapas tiene como principal objetivo suministrar una descripción detallada de un país; pero la descripción puede estar orientada según ciertos criterios prioritarios, tales como la ocupación del suelo, la circulación, o las operaciones militares. Por consiguiente, la escala ha variado según los lugares y las épocas. Actualmente, los mapas básicos deben, ante todo, servir de marco a los proyectos de equipamiento o de ordenación; conviene por tanto establecerlos a la mayor escala que sea compatible con los medios, sobre todo financieros, de que se dispone para realizarlos. En los países poco poblados, o muy extensos, o que sea necesario cubrir rápidamente, es preciso contentarse con escalas de reconocimiento, del orden de 1:100.000 o 1:200.000, y a veces menor. Citaremos como ejemplo el mapa del Sahara a 1:200.000 publicado por el Instituto Geográfico Nacional francés. En naciones industriales y muy urbanizadas, países densamente po-

blados, o regiones muy accidentadas, se utilizan escalas que permitan una mejor representación de los detalles, como 1:50.000, 1:25.000, o incluso 1:10.000 y 1:5.000.

Hemos visto que existe una gran variedad de sistemas de proyección. Sin embargo, para los mapas básicos sólo se utilizan un pequeño número de ellos que responden a las necesidades de los usuarios, en cuanto a la escala adoptada, a la situación del país y a la superficie a representar. El mapa de Francia a 1:80.000, llamado del Estado Mayor, utilizaba la proyección de Bonne, que es una proyección equivalente. Pero, a partir de finales del siglo pasado, los errores de ángulos y distancias registrados en sus bordes, demostraron su ineficacia para los cálculos necesarios en el tiro de artillería. Estas necesidades militares, confirmadas por las de la navegación aérea, y más tarde por las de las obras públicas, incitaron a la mayor parte de los servicios geográficos modernos a levantar sus mapas topográficos en proyección conforme. Por ello se utiliza en Francia la proyección cónica de Lambert. Pero, a partir de la segunda guerra mundial, tiende a generalizarse el uso de la proyección transversa de Mercator (UTM), salvo en las regiones polares, en las que se emplea la estereográfica, y en las regiones ecuatoriales, donde se sigue siendo fiel a la directa de Mercator.

La redacción de un mapa básico empieza por el establecimiento, a la escala conveniente, de un *esquema del mapa*, que consiste en dibujar, sobre un soporte estable, la red de meridianos y paralelos con el mayor rigor geométrico posible. Para ello se utilizan las tablas de proyecciones, que dan las intersecciones necesarias, y los coordinatógrafos, que son aparatos de precisión concebidos para la situación de puntos conocidos por sus coordenadas rectangulares, y para el trazado de las cuadrículas. Del mismo modo se transcriben, por grabado con aguja, todos los puntos de la red geodésica de control.

Para los mapas que cubren un vasto territorio, es necesario prever una división del esquema del mapa en hojas de edición, de formato cómodo y manejable. Se emplean varios tipos de división, según las dimensiones del mapa, las necesidades derivadas de su relación con otras ediciones análogas, y también las costumbres de cada organismo. En el mapa del Estado Mayor a 1:80.000, la división en

hojas se efectúa mediante rectángulos de 64 × 40 km. Lo más corriente es que los límites de las hojas estén constituidos por meridianos y paralelos; las variantes se distinguen por el espaciamiento de estos marcos de coordenadas y por las unidades angulares empleadas: centesimales en los mapas franceses, y sexagesimales en la mayor parte de los restantes. Por otra parte, a partir de la adopción, en los acuerdos sobre el Mapa del Mundo a 1:1.000.000, de reglas precisas para fijar los límites de las distintas hojas en cualquier región del globo, muchos servicios cartográficos adoptan ahora divisiones equivalentes a submúltiplos exactos de las hojas de dicho mapa.

B) *Redacción cartográfica*

Una vez determinadas la escala, el sistema de proyección y la división en hojas, las minutas sobre el terreno, o las fotogramétricas, se fotografían, y luego se ensamblan de acuerdo con dicha división en hojas. El resultado constituye la *maqueta*, que servirá para la redacción cartográfica propiamente dicha.[13]

En el caso de mapas básicos, la redacción consiste esencialmente en la puesta en limpio de los croquis de campo, una vez verificados y completados por la toponimia. Normalmente se establece primero un *fondo provisional*, a una escala ligeramente superior a la de publicación (por ejemplo a 1:15.000 para la 1:20.000; o a 1:20.000 para la 1:25.000), con objeto de beneficiarse posteriormente de las ventajas de una reducción fotográfica. Este fondo se redacta con la ayuda de la maqueta y de algunas preparaciones complementarias, realizadas sobre un superponible transparente, y tiene por objeto la situación, por referencia a la red de coordenadas de la proyección, de los detalles planimétricos, del relieve y de la rotulación, así como la aplicación correcta de los convenios establecidos en la leyenda común a todas las hojas. Es la imagen misma del mapa definitivo, y normalmente comprende los siguientes elementos:

1. Las diferentes *referencias* y las *coordenadas*. Los meridianos y paralelos del sistema de proyección se reproducen y se acotan,

en grados sexagesimales o centesimales, con orígenes en un meridiano, que es en general el de Greenwich,[14] y en el Ecuador. En los mapas franceses,[15] se superpone a menudo una cuadrícula kilométrica Lambert o UTM. En los puntos geodésicos que sirven de apoyo a la topografía, se indica su cota altimétrica.

2. La *hidrografía*, cuyo dibujo obedece a algunas reglas simples. La noción de permanencia suele expresarse mediante trazos continuos, cuya anchura está en relación con la de los cursos de agua, o por manchas en colores planos, si se trata de lagos. La intermitencia, por el contrario, se representa mediante líneas de trazos o tramas. Los detalles de esta red dependerán, naturalmente, de la escala y de la complejidad de sus ramificaciones; pero en los mapas básicos son prácticamente exhaustivos.

3. Una representación de los *detalles planimétricos*, que se refieren a la infraestructura y a algunos elementos de ocupación del suelo. Por ejemplo, edificaciones, pueblos o ciudades, redes de comunicaciones, y espacios ocupados permanentemente por un tipo definido de vegetación (bosque, matorrales) o de cultivo (huertas, viñas). En los mapas básicos, estos detalles se representan en su verdadera magnitud, a escala, cuando sus dimensiones lo permiten. En caso contrario se recurre a los signos convencionales contenidos en la leyenda.

4. Una representación del *relieve*, que debe respetar dos datos esenciales: el valor geométrico y volumétrico de las masas y pendientes, y los caracteres del modelado topográfico (fig. 29). El valor geométrico viene proporcionado en parte por las *cotas de altitud* que se asignan por la observación a los distintos puntos de las redes geodésica y topográfica, con la precisión propia del método de levantamiento. Los volúmenes y las pendientes se representan mediante las *curvas de nivel*, líneas de igual altitud en cota redonda, trazadas a una equidistancia conveniente y tanto más reducida cuanto mayor sea la escala; por ejemplo, 5 o 10 m a 1:20.000; y 25 o 50 m solamente a 1:200.000. La representación del modelado de detalle es difícil de lograr, y a menudo más sugestiva que precisa. En los mapas antiguos, el modelado se trataba frecuentemente en elevación o en perspectiva, de forma artística pero muy convencional, e incluso

errónea. El mapa de Francia a 1:80.000 ha popularizado el sistema de *normales*, apoyadas en las curvas de nivel y tanto más próximas entre sí cuanto más fuerte es la pendiente. Puede lograrse así una impresión de relieve sorprendente, pero el procedimiento no ofrece ninguna garantía geométrica, una vez borradas las curvas que sirvieron

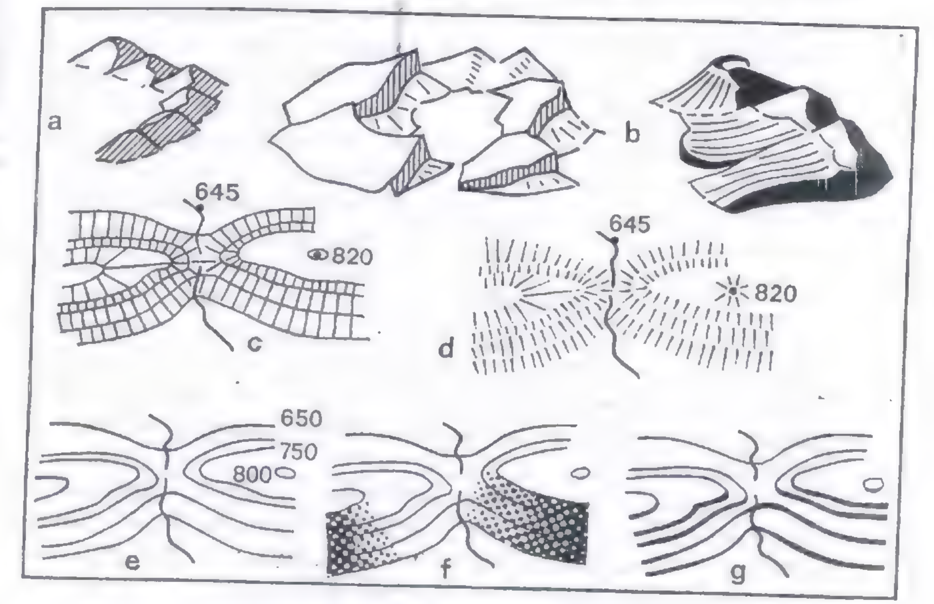


FIG. 29. *Representación del relieve*
Perspectivas: a. antigua; b. modernas. Normales: c. principio de construcción; d. resultado. Curvas: e. curvas simples; f. sombreado; g. resalte.

de soporte a las normales. En los mapas modernos, la expresión del relieve se basa en las curvas de nivel, que se completan con toda una serie de artificios: por ejemplo, el intercalado de curvas en las regiones demasiado poco accidentadas, o la adopción de signos simbólicos que subrayan los accidentes notables, tales como "arranques", peñascos, cornisas, etc. En los mapas en color se utiliza mucho el

sombreado, con luz oblicua y tono gris azulado, sobre el fondo ocre de las curvas.

5. Una *nomenclatura toponímica* y una *información gráfica auxiliar*, destinadas a facilitar la lectura del mapa. En el caso de levantamientos directos sobre el terreno, la toponimia es recogida "in situ", al mismo tiempo que se realizan las operaciones topográficas. En el caso de levantamientos fotogramétricos, es necesario recurrir a encuestas especiales, que se realizan durante las operaciones de verificación. La toponimia se establece en su forma definitiva por especialistas; en territorios extranjeros, es precisa una transcripción que debe efectuarse conforme a reglas rigurosamente establecidas. La elección de los detalles a consignar y la disposición de los rótulos dependen de los propios detalles, del objeto del mapa, de su acumulación y de la escala. Una jerarquía de caracteres, distintos en forma y dimensión, facilita la determinación de las localidades y la legibilidad del mapa. Los elementos de la información gráfica auxiliar: recuadro, títulos, leyenda, y datos numéricos diversos, deben estar en armonía con el objetivo y el estilo del mapa.

La mayor parte de los mapas antiguos eran monocromos; por ejemplo, el mapa de Francia a 1:80.000 está en negro. En los mapas básicos modernos, se utiliza generalmente el *color* como medio de selección de los detalles, y para hacer la lectura más fácil y expresiva a la vez. El número de colores depende de las posibilidades técnicas y financieras y, en cierta medida, de la escala. En efecto, debe aumentar cuando la escala disminuye, puesto que entonces la situación de los detalles se hace más difícil. Suelen utilizarse entre dos y cuatro colores fundamentales, a los que pueden añadirse un número igual de colores accesorios o sobrecargas, es decir, un total de seis a diez como máximo. La elección de colores responde normalmente a algunas convenciones, reforzadas por criterios estéticos más o menos afirmados. Los más utilizados son el azul, para la hidrografía y para el mar; el ocre, para las curvas de nivel; el verde, para los bosques y cultivos; y el negro, para la planimetría; a los que hay que añadir el gris de sombreado, y alguna vez el rojo o el amarillo, para carreteras y regiones urbanizadas.

C) *Establecimiento de las planchas de impresión*

A partir del fondo provisional que contiene la totalidad de los detalles a representar, se establecen los originales definitivos, o *planchas de redacción*, que servirán para realizar el mapa. Se trata de obtener, mediante una selección razonable, y conservando entre ellas una referenciación rigurosa, tantas planchas distintas como colores se utilizan en la impresión.[16]

Planchas fundamentales

La forma de selección más comúnmente empleada en los mapas básicos es la redacción por colores separados. Para ello se obtiene un negativo del fondo provisional, que se reproduce por contacto sobre una serie de soportes actínicos idénticos, tantas veces como sea necesario. Estas reproducciones del fondo sirven de guía para el dibujo de las *planchas fundamentales*, o planchas de línea, que aseguran la puesta en situación de los detalles del mapa.

Las planchas fundamentales están realizadas normalmente a la escala del fondo provisional, y son luego llevadas, mediante una ligera reducción fotográfica, a la escala de publicación. Se relacionan a continuación las utilizadas en la mayor parte de los casos:

— La *plancha del negro*, que contiene la información gráfica auxiliar y la planimetría. Se empieza por el trazado de la red de coordenadas y la situación de las referencias geodésicas. Se aseguran a continuación los enlaces con las hojas colindantes. Después, se dibujan las vías de comunicación, los límites, los contornos de colores (que podrán borrarse más tarde), los signos convencionales, los cuadros graduados y el recuadro exterior. Finalmente, se añaden unas cruces en los ángulos, que se reproducen en todas las demás planchas y servirán para su ajuste en máquina.

— La *plancha del azul*, que es la de la hidrografía. Después de la verificación de los enlaces, se trazan las líneas de costa, cursos de agua, canales, puntos de agua, y eventualmente las curvas de glacia-

res, las curvas batimétricas y la topografía submarina. Se esbozan después, o se reservan para una plancha derivada, los contornos de los planos de agua que irán representados en colores planos o en trama. Finalmente, se dibujan los elementos azules de la leyenda, con referencia a la plancha de rotulación.

– *La plancha del ocre*, que es la de las curvas de nivel y de las figuraciones anexas al modelado, cuando existen. Una vez realizados los ajustes, se trazan sucesivamente las curvas directrices, cada 50 o 100 m, las ordinarias y las intercaladas. Finalmente, se establecen los signos convencionales, las cotas de las curvas y los elementos ocres de la leyenda.

– La *plancha de rotulación*, que en general se confecciona por separado. La redacción de esta plancha es siempre delicada, si se quieren mantener a la vez una buena legibilidad y una cierta estética. En todo caso, es precisa una referenciación constante a las otras planchas de línea, sobre las que se realizarán eventualmente las cesiones necesarias.

Planchas derivadas

Las planchas fundamentales, una vez llevadas a la escala de publicación, son a su vez copiadas sobre una nueva serie de soportes idénticos a los precedentes, y sirven de guía para el establecimiento de las *planchas derivadas*, que se refieren principalmente a los símbolos figurativos del mapa definitivo. Son esencialmente:

– Las *planchas de color*, que se hacen con el fin de cubrir uniformemente algunas partes del mapa, por medio de un color plano, una trama o un estarcido.

– Las *planchas de sombreado*, que se establecen a partir de un dibujo al lavado o con lápiz blando, el cual se fotografía luego a través de una trama grabada (tramado fotográfico).

– Las *planchas de sobrecarga*, que comprenden eventualmente tintas complementarias, cuadrículas anexas o elementos que sólo deben figurar en un número limitado de ejemplares.

Planchas matrices

Las planchas fundamentales y derivadas, una vez llevadas rigurosamente a la escala de la publicación, se reúnen, color por color, refiriéndose entre sí por superposición. Trasladadas fotográficamente, o mediante copia directa, sobre un soporte plástico transparente, constituyen las *planchas matrices*, o "typons", que servirán, sin otra intervención que la de los procedimientos fotomecánicos, para la confección de las "formas" de imprenta, o planchas de tirada.

III. CARTAS NÁUTICAS

Las cartas náuticas son un caso particular de los mapas básicos. Resultan de levantamientos directos de los fondos marinos, efectuados con el objeto esencial de servir a la navegación.[17] Estas condiciones explican sus diferencias con los mapas terrestres, diferencias claramente marcadas tanto en su concepción como en su realización.

Durante mucho tiempo se utilizaron solamente cartas marinas a pequeña escala, destinadas principalmente a trazar itinerarios y a determinar rumbos. Los prototipos fueron los portulanos y los mapas del siglo XVI. En el siglo XVII nació la *hidrografía*, ciencia y técnica de la representación de los fondos marinos en las proximidades de las costas. Una serie de trabajos en las costas de Europa dieron lugar entonces a algunos documentos aislados, que podrían compararse con los planos terrestres contemporáneos. En Francia se creó en 1720 un "Depósito general de los mapas y planos de la Marina", con objetivos similares a los del "Depósito de Guerra", es decir, la reunión de todos los informes cartográficos acerca de la navegación y la redacción, a partir de ellos, de mapas de compilación. Pero los primeros levantamientos sistemáticos de las costas de Francia se emprendieron a partir de la creación, en 1800, del cuerpo de "Ingenieros Hidrógrafos", principalmente bajo la dirección del ingeniero Beautemps-Beaupré.

A partir de 1886, se confió la revisión y prosecución de estos levantamientos al Servicio Hidrográfico de la Marina (SHM), actualmente el único responsable en Francia de la cartografía náutica.[18] Este servicio, y los análogos extranjeros, publican diferentes tipos de mapas, que pueden clasificarse así:

— *Planos a gran escala*, de 1:1.000 a 1:10.000, de puertos, canales de acceso, fondeaderos, y algunos sectores de costa difíciles, o notables en algún aspecto.
— *Mapas de detalle*, de 1:20.000 a 1:150.000, que representan las proximidades de las costas más frecuentadas.
— *Cartas de navegación costera*, de 1:150.000 a 1:300.000, que se utilizan para derrotas de cabotaje o de turismo.
— *Cartas de recalada*, a pequeña escala, y *Derroteros* destinados a la navegación de altura y a las tomas de contacto con el continente.
— *Mapas de compilación*, que proceden de la explotación de documentos extranjeros.
— *Mapas especiales*, tales como cartas de declinación, de vientos, de corrientes, de faros y radionavegación, etc.

Para establecer las cartas náuticas, se recurre a métodos de levantamiento especiales y difíciles, cuya aplicación exige un personal muy entrenado y operaciones largas y delicadas. Una de las más importantes y menos sencillas es la determinación de los *puntos de observación*. En las proximidades de las costas, se utilizan como referencia balizas enlazadas a la triangulación geodésica terrestre. Pero, en general, sólo puede contarse con las observaciones astronómicas, o con levantamientos radiogoniométricos, menos precisos. Las observaciones sistemáticas sobre satélites permitirán, sin duda, grandes progresos en este campo.

Una vez conocido un punto, viene la operación fundamental de medir su profundidad, o *sonda*. Aproximadamente hasta 1920, los sondeos se efectuaban a mano, con plomada. Después se generalizaron los registros, sobre bandas desarrolladas en movimiento uniforme, de los ecos producidos sobre el fondo por una emisión continua de ultrasonidos, efectuada desde un navío que sigue una ruta conocida a velocidad constante. Los levantamientos hidrográficos especiales son además completados por la explotación crítica y controlada de los registros recogidos por los barcos mercantes. En algunos lugares, los sondeos se refuerzan con dragados, que permiten estudiar la naturaleza de los fondos. Se levanta además una estrecha banda litoral, incluyendo todos los puntos o formas del relieve visibles desde el mar que puedan servir de marcas, siguiendo los procedimientos clásicos de la topografía terrestre o de la fotogrametría aérea. Otro tanto se hace para las islas, y para los arenales, roquedales y plataformas que afloran en bajamar.

Todos los perfiles de sondas son trasladados después al esquema del mapa, teniendo cuidado de situarlos de acuerdo con las posiciones de los puntos exactamente determinados. Las sondas son entonces corregidas por altura de la marea en el momento del levantamiento, para llevarlas al nivel de la marea baja, que constituye el cero de las cartas. Finalmente estas *minutas de sonda* se reúnen con las *minutas de búsqueda de rocas* y las *minutas topográficas de costa*, para formar el original definitivo.

Si bien las operaciones de levantamiento de las cartas náuticas son difíciles, las operaciones cartográficas correspondientes son, por el contrario, más simples que para los mapas terrestres. Los servicios hidrográficos disponen de un importante archivo de antiguas cartas, grabadas sobre planchas de cobre, que datan de 1800 a 1940, y que se ponen al día constantemente. En Francia, está en curso de ejecución, desde 1946, un nuevo programa de actualización sistemática; es decir, que la cartografía consiste tanto en hacer correcciones como en establecer nuevos mapas. En todo caso, la tradición, la existencia de reglas estrictas,[19] el objeto preciso de estas cartas destinadas al uso internacional, y de las que se publica un número relativamente pequeño de ejemplares, hace que todas ellas se asemejen, y que conserven formas anticuadas, más propias del siglo XIX que de la cartografía contemporánea.

La mayor parte de las cartas náuticas están referidas a elipsoides antiguos; sólo las más recientes utilizan el elipsoide internacional. Todas ellas están en la proyección Mercator, salvo las de las regio-

nes polares, realizadas en proyección estereográfica. La red de coordenadas geográficas, tiene por origen el meridiano de Greenwich, y está dividida en grados y minutos sexagesimales. Las variaciones de escala son arbitrarias, pero esto carece de importancia, ya que estas cartas no están hechas para ser ensambladas. La impresión se realiza sobre formatos standard, que pueden ser fácilmente clasificadas en las colecciones de a bordo. La mayor o menor abundancia de detalles depende, naturalmente, de la escala y del objeto propio de la carta. De todos modos, el relieve de la banda costera es sólo esquemático y está tratado mediante normales, a veces incluso en forma de croquis en elevación, que buscan más la expresión que la precisión. En cambio, la rotulación de las zonas marítimas está muy estudiada, pues es ella la que distingue los diferentes obstáculos. Los caracteres rectos se asocian a la tierra y a las rocas no sumergidas; los caracteres inclinados al mar, a las aguas y a los objetos sumergidos. Las cotas en tierra se refieren al cero de la nivelación general; las cotas restantes y las sondas, al nivel de las mareas más bajas, de modo que quede perfectamente definida la zona permanentemente sumergida. Las sondas se representan mediante signos puntuales, y se redondean a la unidad más allá de 10 m, y a la decena a partir de 500 m. Sólo en las orillas se trazan curvas batimétricas, y algunas indicaciones dispersas informan sobre la naturaleza de los fondos.

En general, las cartas náuticas son monocromas. Sin embargo, las nuevas cartas redactadas por el Servicio Hidrográfico francés desde 1946 llevan algunos colores anexos: iluminación violeta de los faros tono gris claro amarillento para las partes terrestres, y tintas batimétricas: azul plano de 0 a 5 m, y azul tramado de 5 a 10 m.

IV. MAPAS DERIVADOS Y MAPAS DE COMPILACIÓN

Los mapas básicos son el punto de partida para la realización de todos los demás. Sin embargo, las condiciones de ejecución de estos últimos son bastante diferentes, según se trate de mapas derivados o de mapas de compilación.

A) *Mapas derivados*

Por definición, los mapas derivados se obtienen directamente de mapas básicos, tomando de ellos las referencias geodésicas, así como el fondo planimétrico y oro-hidrográfico. El tipo de reducción más frecuente es de 1/2. Del primer mapa derivado se pueden extraer a su vez mapas derivados secundarios, de escala cada vez más pequeña. Así por ejemplo, el mapa de Francia a 1:20.000 o a 1:25.000, da origen al mapa a 1:50.000, del cual se obtienen sucesivamente los mapas a 1:100.000, 1:250.000 y 1:500.000.

Estas reducciones en cadena necesitan, naturalmente, una cuidadosa generalización en cada paso, que se efectúa según un orden bastante riguroso. En principio, se mantiene la hidrografía, considerada como la referencia esencial. Se eliminan solamente los cursos de agua más cortos, y se acentúan algunos caracteres notables, perdidos en la reducción pero útiles para la situación de otros objetos; por ejemplo, bucles de meandros, confluencias, etc. Se traza después la planimetría, por relación a este nuevo dibujo, tratando primero las vías de comunicación, después las edificaciones, los cercados, los límites, etc. Finalmente, se ajusta a este conjunto la plancha orográfica. Para esto es preciso, por una parte, adaptar la equidistancia de curvas a la escala, suprimiendo una curva de cada dos, al menos en las regiones más accidentadas; y por otra parte, rechazar hacia las vertientes, si es posible, las curvas de los fondos de valles, con objeto de que engloben toda la planimetría existente en ellos; se procura, sin embargo, mantener la situación de todos los accidentes significativos y de los puntos característicos, tales como cimas, desfiladeros y pasos. Sólo queda decir que estas operaciones acumulan causas de error, y que la precisión de los mapas se altera tanto más cuanto más disminuye la escala.

No puede por tanto hacerse la reducción de una hoja de mapa derivado hasta que las hojas componentes del mapa básico están terminadas. Esto produce un cierto retraso entre ambas publicaciones, lo que obliga, por lo general, a una puesta al día. Por otra parte, como quiera que el destino de los mapas derivados no es forzosa-

mente el mismo que el de los mapas básicos, puede interesar que aparezcan en aquéllos informaciones que no existían previamente en éstos. Para ello se utilizan, además de fuentes bibliográficas muy variadas, los mapas más recientes a la mayor escala posible: cartas aeronáuticas, mapas de carreteras, administrativos, técnicos, planos de urbanismo, etc. La puesta en situación se hace directamente a partir de estos documentos, o de fotografías aéreas; en caso de necesidad, se efectúan levantamientos complementarios sobre el terreno.

Se obtienen así las planchas de línea de los mapas básicos que han de servir para la redacción de las maquetas de los mapas derivados, sobre un esquema del mapa establecido a la escala de los documentos, o a una escala intermedia entre ésta y la de publicación. Por ejemplo, para el mapa de Francia a 1:50.000, se unen cuatro hojas a 1:25.000, reducidas a escala 1:37.500. Se efectúan entonces varias preparaciones complementarias, para realizar las generalizaciones necesarias, la puesta al día, la homogeneización de las hojas componentes y la nueva disposición de la rotulación. Como en el caso de los mapas básicos, se elaboran luego sucesivamente las planchas fundamentales (negro, azul, ocre), que servirán a su vez para confeccionar las maquetas de los siguientes mapas derivados. Después se preparan las planchas derivadas, a partir de una reducción de las planchas fundamentales a la escala de publicación. Y finalmente se obtienen las planchas matrices, mediante copia sobre plástico de las precedentes.[20]

B) *Mapas de compilación*

Los mapas de compilación proceden de una documentación variada, y a menudo muy heterogénea en escala, valor geométrico, densidad, naturaleza de los informes, unidades de medida, nomenclatura, e incluso en su concepción. La realización de estos mapas ofrece el riesgo de la acumulación de errores, cualesquiera que sean las precauciones tomadas, y no debe por tanto considerarse más que para mapas a media o a pequeña escala, de los que no se espera una gran precisión.

El tiempo que media entre la redacción de los mapas componentes y el mapa definitivo es aún mayor que en el caso de mapas derivados, por lo que las operaciones de puesta al día y terminado son aquí aún más indispensables. Todo ello exige un trabajo de documentación y de crítica de las fuentes, a veces muy considerable. Es necesario, en efecto, escoger entre los mapas disponibles los más actuales y mejor informados: mapas regulares, de atlas, especiales (como los de carreteras), cartas náuticas y aeronáuticas, etc. Luego es preciso compararlos entre sí, eliminar los errores producidos por eventuales copias sucesivas, efectuar todos los recortes necesarios. Por fin, es preciso introducir todos los cambios y novedades que puedan extraerse de la bibliografía corriente: prensa diaria, anuarios estadísticos, publicaciones oficiales y publicitarias, guías turísticas etc. A veces, conviene incluso completar grandes zonas con la ayuda de fotografías aéreas montadas sobre una TPFR. La redacción de los mapas de compilación necesita pues verificaciones constantes, con objeto de no reunir más que documentos perfectamente acreditados.

Este ensamblaje mismo presenta muchas dificultades, dada la diversidad geométrica de los originales. Procede de reducciones fotográficas y de preparaciones dibujadas, reducidas luego a una escala común y adaptadas cuadrícula por cuadrícula sobre un original de red geográfica adecuado, que incluya el mayor número posible de referencias transportadas al sistema de coordenadas elegido.

Así por ejemplo, el Mapa del Mundo a 1:10.000.000, en doce hojas y cinco colores, editado por el IGN en proyección Mercator, tiene por fuentes esenciales la carta aeronáutica internacional a 1:1.000.000, cuyas hojas son de origen americano, inglés o francés, y toda clase de documentos locales disponibles: cartas náuticas, mapas básicos de diferentes Estados, mapas derivados y de compilación intermedios, como los mapas de Europa, de África, de los Estados Unidos, de la URSS, etc. El esquema del mapa se dibuja sobre papel armado, con un cuadriculado de grado en grado del que no subsistirá en la tirada más que un meridiano y un paralelo por cada diez. Esta red geográfica se traslada después sobre soporte plástico, a la dimensión de cada hoja. Las preparaciones, dibujadas a partir de las

fuentes y reducidas a la escala, se unen entonces hoja por hoja, constituyéndose así la maqueta y el fondo provisional, que sirven de guía para la ejecución de las planchas fundamentales de línea, la plancha de rotulación, y las derivadas.

Los principales mapas de compilación son los de conjunto de continentes, como los de Europa a 1:1.000.000 y 1:2.500.000,[21] el mapa de la URSS a 1:4.000.000, el mapa de África a 1:5.000.000, los mapas del mundo entero, como el mapa internacional a 1:1.000.000, y los mapas de atlas.

C) *Los globos*

Los globos pueden considerarse como un caso particular de los mapas de compilación. No se trata ahora de proyectar sobre una superficie plana la superficie curva de la Tierra, sino de una simple reducción del geoide a una determinada escala. Por lo demás, la documentación, la generalización y la reducción gráfica se efectúan del mismo modo que en los demás mapas.

Debido al pequeño valor del achatamiento terrestre, los globos de escala normal pueden ser prácticamente considerados como esferas, lo que facilita su construcción.[22] El globo propiamente dicho está constituido por una esfera rígida de madera, cartón fuerte, metal ligero o plástico moldeado, sobre la que pueden dibujarse directamente los elementos a representar. Pero normalmente la red geográfica y los detalles se preparan e imprimen sobre hojas de papel, recortadas en forma de huso de diez a quince grados de longitud, y ensamblados a lo largo del Ecuador; estas hojas se pegan después en toda su extensión sobre el soporte.

Naturalmente, la confección de globos ha seguido la evolución de las técnicas y de los gustos, por lo que existen muchos tipos, desde los precisos y matemáticos, que expresan los conocimientos geográficos del momento, hasta los simplemente ornamentales y decorativos. Sin embargo, los globos son los mejores exponentes de nuestra visión de conjunto del planeta y, en particular, de las propiedades relacionadas con la esfericidad de la Tierra, que a menudo se

olvidan o deforman en los mapas. De ahí su papel esencial en la enseñanza y en el tratamiento de los problemas relativos a la geometría del geoide: astronomía planetaria, repartición de masas, evaluación de distancias y búsqueda de itinerarios.

A pesar de ello, los globos han conocido períodos de esplendor y períodos de eclipse. Son, en efecto, embarazosos, incómodos de manejar y han de construirse a escalas reducidas, del orden de 1:10.000.000 como mucho, para que sean accesibles; además, cuando se quiere disponer de una representación detallada, es necesario recurrir al mapa. Por estas razones, y a pesar de su exactitud, el empleo de los globos es, én general, bastante secundario. Pero como se prestan bien al estudio de los problemas de circulación planetaria, no es casual que su mayor difusión coincida con épocas en las que estas preocupaciones han obsesionado a los hombres: los siglos XV y XVI, con los grandes viajes marítimos; el siglo XIX, con las grandes exploraciones; y el XX, con la navegación aérea.

V. EL LEVANTAMIENTO DE PLANOS

Contrariamente a lo que ocurre con los mapas derivados y de compilación, el levantamiento de planos a escala muy grande, como los mapas básicos, se funda en trabajos originales sobre el terreno. Estos trabajos no son fundamentalmente distintos de los topográficos anteriormente descritos; utilizan los mismos métodos y, en conjunto, los mismos instrumentos; pero se refieren a una red de triangulación más densa, que permite determinaciones más precisas. El levantamiento de planos, así como otras operaciones de agrimensura, pertenecen de hecho más bien al dominio del geómetra que al del cartógrafo. Se cita aquí a título de información, y porque responde, pese a todo, a las mismas preocupaciones por la medida y la representación de la superficie terrestre.

El levantamiento de planos interesa a un gran número de actividades diversas; el plano es necesario cada vez que se trata de constatar una situación topográfica existente, ya sea para estudiarla, conservarla, modificarla u ordenarla. Este caso se da principalmente en

las obras de ingeniería civil: alineaciones, excavaciones y galerías, trazados de vías y perfiles, construcción de diques, puentes o presas, cubicación de excavaciones, etc.; y también en las obras de ingeniería rural: amojonamientos, catastro, replanteos, drenajes, riegos. Lo mismo ocurre en los proyectos arquitectónicos o paisajísticos, y en los trabajos de urbanismo. Además, se recurre a planos a gran escala en las investigaciones científicas de detalle, sobre unidades de magnitud hectométrica, o menor: conos de escombros, de avalanchas o de deyección, depósitos fluviales o marinos, frentes de escarpaduras, pequeñas dunas, cortes naturales o artificiales, planos de pueblos o de explotaciones, barrios de ciudades, etc.

La primera operación es siempre el establecimiento de una red de triangulación muy densa, enlazada con la red general de tercer o cuarto orden. Para un plano a 1:2.500, se estiman necesarios al menos dos puntos por kilómetro cuadrado. La triangulación gráfica se efectúa con teodolito o con plancheta y alidada, primero a lo largo de itinerarios principales, y después de otros secundarios, todos ellos cuidadosamente jalonados con anterioridad. A falta de triangulación geodésica, puede partirse de una base de 800 a 1.000 m, medida con hilos invar y orientada sobre la estrella polar. El levantamiento de los detalles se hace por relación a los puntos así establecidos. Las distancias se miden con cinta decamétrica o por taquimetría, y las diferencias de altitud con el nivel. Ocasionalmente, se pueden establecer curvas con equidistancia de un metro, o de medio metro. En los levantamientos normales se utiliza exclusivamente el taquímetro, que permite medir simultáneamente los ángulos acimutales, los desniveles y las distancias, sobre una mira parlante. El principal inconveniente es que la representación gráfica de los puntos se hace en gabinete, a partir de los cuadernos de campo y un croquis sumario de las estaciones; es necesario, por tanto, no olvidar nada. En cambio, si el operador posee experiencia, el levantamiento es muy rápido, y cada estación puede ser verificada a partir de las vecinas.

Entre estos levantamientos especiales, los más frecuentes son los siguientes:

— Los levantamientos de *trazados* o *itinerarios* lineales, a esca-

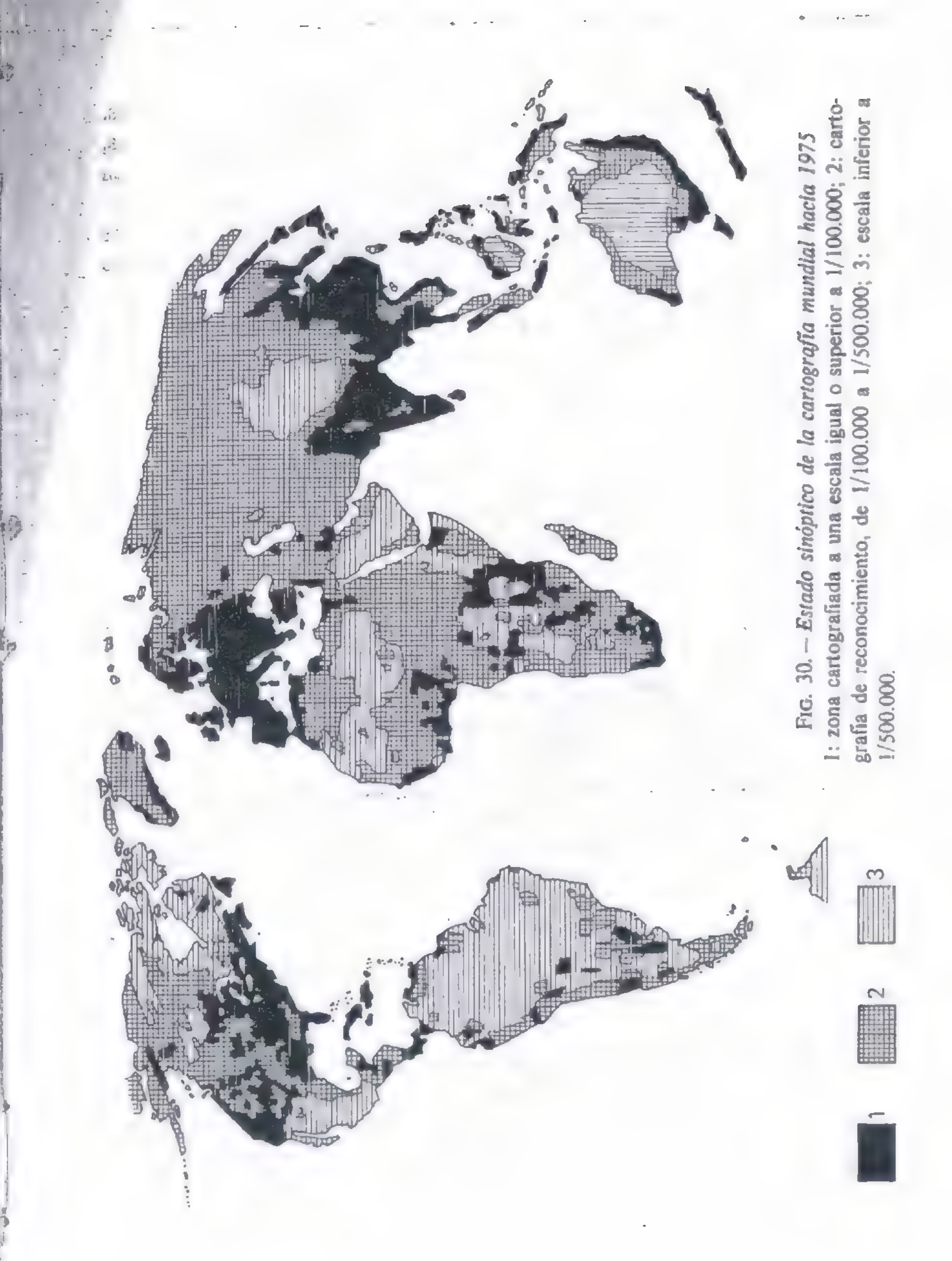


Fig. 30. — *Estado sinóptico de la cartografía mundial hacia 1975*
1: zona cartografiada a una escala igual o superior a 1/100.000; 2: cartografía de reconocimiento, de 1/100.000 a 1/500.000; 3: escala inferior a 1/500.000.

las diversas según las necesidades, por poligonales goniométricas. Un caso particular es el de los levantamientos subterráneos (galerías, túneles, grutas), en los que se utilizan los mismos métodos, pero en condiciones de aplicación más difíciles: visuales sobre miras luminosas, enlace a una triangulación de superficie mediante descenso de referencias a través de pozos, fisuras o chimeneas, jalonamiento de puntos en el techo de las galerías, etc.

— Los *planos parcelarios*, a una escala cercana a 1:1.000, que incluyen el trazado de las lindes de parcelas, muros, vallados, zanjas, caminos, arroyos, situación de las edificaciones, indicación de la naturaleza de los cultivos, y nombres de los parajes y de los propietarios.

— Los *planos catastrales*, a escalas próximas a 1:2.500, que reagrupan los planos parcelarios de un municipio, y que van acompañados por documentos anexos en forma de registros: estados de las secciones y matriz catastral.[23]

— Los *planos urbanos*, frecuentemente a 1:5.000, o incluso a 1:200, levantados a partir de poligonales precisas cuyos ángulos se miden con teodolito y las distancias con cinta. Los detalles se transportan sobre una cuadrícula por sus coordenadas, lo que facilita el automatismo, que de hecho se practica cada vez más.

La utilización técnica y científica de los planos a gran escala está muy extendida, y es indispensable para los estudios de detalle. En cuanto a su levantamiento, salvo excepciones, es de la competencia casi exclusiva de operadores especializados.

VI. BOSQUEJO DE NUESTRO CONOCIMIENTO CARTOGRÁFICO DEL MUNDO

Falta mucho todavía para que nuestro conocimiento cartográfico del mundo sea igualmente avanzado en todos los puntos del planeta, e incluso en el interior de algunos grandes países.[24] La curiosidad científica, las guerras, la administración, la colonización, los intereses económicos, la política internacional, las preocupaciones

sobre una ordenación más racional del globo son, en diversos grados, responsables de este estado de cosas. La figura 30 ofrece un estado sinóptico de la cartografía mundial hacia 1975.

Se observa que no existen levantamientos a escala igual o superior a 1:100.000 más que en los países de antigua tradición científica, administrativa y militar, como Europa, en los países de técnica avanzada como los Estados Unidos o Japón, o incluso en países colonizados desde hace mucho tiempo, o económicamente dependientes, como la India, Indochina, China Oriental, el Este de Australia, Nueva Zelanda, y algunos sectores de África y de América del Sur. Además, en el interior de este espacio, existen bastantes desigualdades. Los mapas regulares que ofrecen todas las garantías de exactitud y de precisión, y están publicados a una escala igual o superior a 1:25.000, cubren apenas el 3 % de las tierras emergidas, y no constituyen una cobertura completa más que en Gran Bretaña, Irlanda, Alemania, Austria, Dinamarca y el Benelux; no cubren todavía la totalidad de Francia, ni de Suiza, ni de Italia, ni de España, y están aún más incompletos en los demás países. En todos estos territorios, se les complementa con mapas de inventario general, mejores o peores, a escalas comprendidas entre 1:50.000 y 1:100.000.

Fuera de estas zonas, existe una cobertura de reconocimiento, a escalas comprendidas entre 1:100.000 y 1:500.000 (generalmente alrededor de 1:200.000 o 1:250.000), que se extiende sobre regiones menos pobladas, pero de interés político o económico importante: noroeste de Canadá, las montañas y desiertos de los Estados Unidos, América Central, diversos sectores de los Andes, las llanuras y planicies sudamericanas, parte asiática de la URSS, China Septentrional y Central, Oriente Medio, antiguas colonias francesas y británicas en África, Indonesia, y perímetro de Australia. Estos mapas, levantados al principio directamente sobre el terreno y después, progresivamente, por fotogrametría aérea, se extienden rápidamente y cubren ya más de un tercio de las tierras emergidas.

El resto del mundo no está cartografiado más que a escalas iguales o inferiores a 1:500.000, frecuentemente a 1:1.000.000, o incluso menos. Aún existen muy vastas regiones del globo, como el norte de Canadá, el oeste de México, casi toda América del Sur, el Sahara

tropical y oriental, África Central, Arabia, Asia Central, Australia Central, y el Continente antártico, en las que sólo se dispone de informaciones aisladas y aproximativas.

Nuestro conocimiento cartográfico del mundo, basado durante mucho tiempo en la prioridad de las necesidades militares, es hoy netamente insuficiente, ante las exigencias del desarrollo económico del planeta, y de la explotación racional de sus recursos naturales. Desde hace mucho tiempo, sin embargo, se unen a los esfuerzos de los servicios oficiales de cartografía topográfica los de numerosos editores privados, como el instituto Justus Perthes de Gotha, la firma Bartholomew de Edimburgo y la American Geographical Society de Nueva York. Atlas excelentes, entre los que son notables el del *Times* británico, el del Touring Club italiano y el gran Atlas del Mundo soviético, contribuyen también a divulgar la descripción cartográfica del globo. Es curioso observar que Francia, después de producir, a fines del último siglo, grandes obras cartográficas, como el Atlas universal de Vivien de Saint-Martin y Schrader, o el Atlas de Vidal de La Blache, no ha vuelto a encontrar un editor bastante osado y perspicaz para producir un nuevo atlas francés del mundo digno de tal nombre. Es cierto, sin embargo, que los geógrafos franceses estuvieron entre los pioneros de los atlas nacionales,[25] hoy patrocinados en numerosos países por la Unión Geográfica Internacional. Pero estos atlas son sobre todo temáticos, y padecen en muchas regiones por la ausencia, o el retraso, de la cartografía básica.

Los progresos recientes y actuales dependen a la vez de condicionamientos técnicos y económicos, o de política internacional. La extensión de las redes geodésicas por métodos terrestres y aéreos, y bien pronto por satélites, así como los métodos modernos de levantamiento por fotogrametría aérea, la automatización y la industrialización de los medios de producción y reproducción de mapas, contribuyen mucho a acelerar el recubrimiento de las lagunas más flagrantes de la cartografía mundial. Paralelamente, las naciones toman conciencia cada vez más de la necesidad de contar con una cartografía precisa en las regiones sobre las que abordan cualquier acción, de la naturaleza que sea. A reserva de establecer después los mapas de detalle, experimentan la necesidad de tener inmediatamente una visión de conjunto correcta, que permita justificar sus programas y seleccionar zonas de intervención. Ante la falta de cuadros competentes y de material adecuado, las más avanzadas y mejor equipadas de entre ellas alquilan sus servicios y contribuyen, no prescindiendo de intereses propios, al desarrollo directo de la cartografía en los países menos dotados, o bien a la formación técnica de su personal.

Pero para la terminación, a corto o largo plazo, de una cobertura cartográfica completa del planeta, es preciso ante todo una cooperación internacional. Esta cooperación está ya bastante avanzada en materia de navegación marítima y aérea. Desde 1921, una Oficina Hidrográfica Internacional, con sede en Mónaco, intenta normalizar los documentos náuticos, y publica un Mapa batimétrico general de los océanos. Desde 1947, la Organización de Aviación Civil Internacional ha establecido acuerdos sobre normalización, que regulan la redacción y las convenciones de las diferentes cartas aeronáuticas. En el campo de los mapas topográficos, la coordinación está menos adelantada; pero progresa, sin embargo, gracias a la Oficina Cartográfica de la ONU, creada en 1951, a la que se adjuntó en 1953 la oficina central del Mapa del Mundo internacional a 1:1.000.000. Si bien este último fue el primer proyecto oficial de cartografía mundial, existen muchos otros, más modestos y sectorizados, que son fomentados o inspirados por instancias internacionales. La Unión Geodésica y Geofísica Internacional se ocupa de coordinar las observaciones geofísicas, de extender la red geodésica mundial y de prever los necesarios enlaces entre continentes. La Asociación Cartográfica Internacional, afiliada a la Unión Geográfica Internacional, trabaja para desarrollar la cooperación en la enseñanza de la cartografía, en la normalización de los procedimientos de redacción y de ejecución, y en el desarrollo de la cartografía automática.

De este modo, los cartógrafos de los diferentes países se sienten cada vez más solidarios y menos aislados, tanto en lo que se refiere a sus concepciones como a sus métodos de trabajo y a sus procedimientos de ejecución. De ello resultará, sin duda, menos originalidad, pero más homogeneidad en la producción cartográfica futura. Y también una cierta unificación de las técnicas, que conducirá pro-

gresivamente a reducir la personalidad propia de cada trabajo, en provecho, según se piensa, de su eficacia.

NOTAS

1. En España, el organismo encargado de estos trabajos es el Instituto Geográfico Nacional, dependiente de la Presidencia del Gobierno (nota del traductor).

2. G. PERRIER, *Petite histoire de la géodesie*, Paris, Alcan, 1931; M. DUFUY y H. M. DUFOUR, *La géodesie*, Paris, PUF, colección "Que sais-je?", 1969. En esta última obra se encontrarán referencias a tratados más profundos.

3. J. GOGUEL, *La gravimétrie*, Paris, PUF, colección "Que sais-je?", 1972.

4. El *geodímetro* enlaza los dos puntos cuya distancia se quiere medir mediante un rayo luminoso de ida y vuelta, modulado en intensidad, cuya diferencia de fase puede determinarse. El *telurómetro* utiliza para los mismos fines ondas decimétricas. Las precisiones relativas que se obtienen son superiores a las de 1:200.000 o 1:300.000 a que se llegaba mediante las antiguas amplificaciones de base.

5. En España era el vértice de la cúpula del Observatorio Astronómico Nacional, en Madrid. Actualmente se ha adoptado el *Datum Postdam*, o *Datum Europeo* (nota del traductor).

6. El *teodolito* es un aparato óptico destinado a medir, por punterías sobre miras, el ángulo acimutal entre dos direcciones visadas, y el ángulo de elevación con relación a la horizontal.

7. En España, el cero de la nivelación está dado por el mareógrafo de Alicante (nota del traductor).

8. Véanse, entre otros: G. DE FONTANGES, *Topographie*, Paris, coll. A. Collin, 1948; P. MERLIN, *La topographie*, coll. "Que sais-je?". Paris, PUF, 1964; R. D'HOLLANDER, *Topographie générale*, 2 vols., Paris, IGN, 1970-1971; J. y E. REVAULT, *La topographie pratique*, Paris, J.-B. Baillère, 1968, 3.ª edición.

9. En el lenguaje topográfico, este dispositivo es denominado *alidada de pínulas* (nota del traductor).

10. BERTHAUT, *Topologie*, Paris, Service Géographique de l'Armée, 1909.

11. Véase J. CARRÉ, *Lecture et exploitation des photographies aériennes*, 2 vols., Paris, IGN, 1971-1972; y más adelante pp. 212-213.

12. Los aparatos en servicio en el IGN proporcionan clisés sobre película estable de 24 × 24 cm para la escala 1:25.000, o sobre placas de 19 × 19 cm para la 1:40.000, tomadas desde una altura de 4.000 hasta 6.000 m, con focales del orden de 100 a 170 mm, y una abertura de campo de 60 a 120º.

12 bis. J. HURAULT, *Manuel de photogrammétrie*, 2 vols., IGN, Paris, 1956.

13. G. ALINHAC, *Cartographie théorique et technique*, fasc. 2: *Méthodes générales de rédaction cartographique*, Paris, IGN, 1962.

14. Los mapas franceses llevan también referencia al meridiano de París.

15. También en los mapas militares españoles (nota del traductor).

16. Véase más adelante, cap. IV, párrafo I.

17. Las cartas aeronáuticas, que desempeñan el mismo papel en el dominio aéreo, no son mapas básicos: están establecidas mediante sobrecargas a partir de mapas terrestres o marinos, derivados o de compilación.

18. El Servicio Hidrográfico de la Marina francesa se denomina actualmente Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Marina (SHOM).

19. Véanse las *Dispositions générales relatives aux cartes de l'hydrographie française*, publicadas por el Servicio Hidrográfico de la Marina, Paris.

20. Las diversas combinaciones de estas planchas permitían la tirada de hojas especiales: oro-hidrográficas, de fondo completo sin el verde, etc.

21. Mapa establecido por los países del Este.

22. A escala 1:10.000.000, el diámetro de un globo es de 1,28 m, y su achatamiento de 4 mm.

23. En España, estos documentos son las "Relaciones de Características" y los "Índices de Propietarios" (nota del traductor).

24. Véase C.B.M. LOCK, *Moderns maps and atlases*, Londres, Clive Bingley, 1969.

25. Véase más adelante, p. 232.

CAPÍTULO III

LA CARTOGRAFÍA TEMÁTICA

El rápido desarrollo de la cartografía temática, en los últimos decenios (desde 1930) y en todos los países, es un rasgo notable de la producción cartográfica mundial. Existe un interés creciente, y por otra parte justificado, hacia la expresión cartográfica, cada vez que los fenómenos estudiados deben compararse con la continuidad del espacio terrestre; fenómenos geográficos, naturalmente, pero también históricos, sociológicos, económicos y de las restantes ciencias del hombre, de la tierra o de la vida. Se observa además un progreso cada vez más seguro de las técnicas, constantemente perfeccionadas, que están a disposición del cartógrafo.

Como toda investigación científica, la cartografía se enfrenta desde el principio con el problema de la *documentación y análisis de la información*. La dificultad estriba en la diversidad y dispersión de las fuentes, pero también en el hecho de que los vocabularios utilizados por los investigadores son, a menudo, demasiado discordantes, imprecisos o incompletos, para permitir una definición correcta de todos los objetos a cartografiar. Puede pensarse sin embargo que, en este campo, la introducción de nuevas técnicas conducirá bastante rápidamente a un mejor acuerdo sobre las definiciones, criterios de identificación y métodos de adquisición de datos. Esta evolución no será vana, en la medida en que deberá provocar un provechoso esfuerzo de lógica científica, que puede ser útil para el conocimiento mismo de los fenómenos a cartografiar. Desgraciadamente, estos acuerdos no son siempre tan fáciles de obtener como sería deseable.

Después, hay que tener en cuenta el caso particular de cada uno

de los *tipos de mapas temáticos*, y de los *temas analíticos* a tratar, con objeto de adoptar la técnica más conveniente para la redacción del documento que se pretende elaborar. Finalmente, y una vez finalizado este análisis, el cartógrafo debe abordar gráficamente el difícil *problema de las correlaciones*, a menos que prefiera presentar simplemente *series y atlas* de los que el lector deberá extraer por sí mismo la información en ellos contenida.

En cualquier caso, los mapas temáticos son generalmente complejos. Es necesario por ello hacerlos accesibles y fáciles de leer. Por otra parte, suelen estar demasiado estrechamente ligados a las disciplinas científicas que ilustran, por lo que no pueden ser encomendados exclusivamente a los técnicos, por muy hábiles o ilustrados que sean. Los mapas temáticos constituyen un trabajo que compete a los investigadores, o a equipos de investigadores, bien informados de sus temas, conscientes de los límites de la expresión gráfica, pero preocupados sobre todo por utilizar a fondo todas sus posibilidades. Al menos esto es lo que confirma, *el panorama de la cartografía temática mundial*, aunque sea incompleto.

I. DOCUMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La cartografía temática toma su documentación de las mismas fuentes que las ciencias a las que sirve. Para cada tema, es preciso que esta documentación sea capaz de suministrar una *descripción completa del espacio* a cartografiar, lo que impone al cartógrafo la obligación de asegurarse una información básica tan exhaustiva como sea posible.

Esta información depende, naturalmente, de la escala. A gran escala, se encuentra esencialmente sobre el terreno, de donde se extrae mediante la observación o la encuesta. A menor escala, puede bastar la fotografía aérea u otros procedimientos de teledetección, o bien informes cuantitativos proporcionados por las estadísticas. En todos los casos, sin embargo, la información básica debe ser completada, a diferentes niveles, por una información de apoyo, o complementaria,

constituida esencialmente por la bibliografía, la iconografía y la cartografía ya existentes.

La información así recogida es después tratada, y los resultados parciales obtenidos se incorporan a la marcha general de la investigación. Actualmente, se tiende a sustituir cada vez más, debido al volumen creciente de la documentación, el tratamiento manual de los datos por un tratamiento automático, o informático, más rápido y racional. Desgraciadamente, estos procedimientos de trabajo, en muchos países, son sólo parcialmente accesibles y están muy desigualmente desarrollados. Por otra parte, dependen mucho de la calidad que tenga la información básica.

1. Documentación bibliográfica y cartográfica

La primera labor del cartógrafo, como de cualquier otro investigador, consiste en efectuar un inventario de los conocimientos ya existentes acerca del tema y del espacio a estudiar. Debe evitarse, en efecto, el rehacer inútilmente un trabajo ya realizado por otros. Sin embargo, este inventario debe ser crítico; algunas obras serán insuficientes, o estarán superadas, o incluso inadaptadas al objeto de la investigación. Esta crítica puede conducir en algunos casos a una comprobación de la carencia de informaciones previas.

Para realizar el inventario, el investigador dispone de los recursos de grandes bibliotecas públicas, especializadas o no, de fondos más o menos ricos de bibliotecas de universidades o laboratorios, así como de ficheros de centros de documentación. La multiplicidad y variedad de estas fuentes de consulta tiene a la vez ventajas e inconvenientes. El acceso rápido al documento buscado es a menudo difícil, y a veces aleatorio. En Francia por ejemplo, la centralización parisiense es un obstáculo nada despreciable para los investigadores de provincias; en París, por el contrario, la dispersión de las bibliotecas obliga a perder un tiempo precioso. Las diferentes perspectivas de los investigadores y de los archiveros y bibliotecarios no colaboran precisamente a arreglar las cosas; los ficheros se conciben según normas que no corresponden forzosamente a la lógica de todas las

investigaciones. Es cierto que existen bibliografías especializadas, impresas, que permiten en algunos casos preparar el trabajo;[1] pero suelen ser poco manejables, costosas y, además, se publican con tales retrasos que resultan poco eficaces. La mejor solución consistiría en una clasificación universal y racional, de la que el investigador pudiese disponer al instante; hacia este ideal tienden los rápidos progresos del tratamiento informático de la documentación.

Esta dificultad se presenta especialmente en lo que se refiere a los periódicos y a los mapas. Por ello, la mayor parte de la información científica, y en todo caso la más actualizada, se extrae de las publicaciones periódicas especializadas. Para facilitar la lectura de esta producción, a la vez superabundante y desigual, se ha generalizado la práctica de publicar resúmenes multilingües e índices sistemáticos. Existe incluso toda una gama de publicaciones periódicas analíticas de información,[2] cuyo objeto esencial es difundir los títulos y resúmenes de los artículos, conforme a temas generales o a "perfiles" de estudio particulares. Una vez comprobada la existencia de un cierto documento, todavía falta obtenerlo, o disponer, al menos, de una copia; también en esto la solución pasa por el tratamiento automático y la fotocopia.

El problema es quizá todavía más complicado para los mapas. La primera necesidad del cartógrafo consiste en localizar su documentación sobre un fondo geográfico. A estos fines, y salvo casos particulares de levantamientos efectuados directamente sobre el terreno, los mapas ya existentes constituyen la documentación básica, tanto de información como de referencia. Para todo lo que concierne a la puesta en posición, al entorno topográfico e hidrográfico, a la ocupación del suelo, a los centros de población y a las comunicaciones, la información se encuentra en los mapas topográficos, cuyas colecciones son generalmente accesibles. Pero los documentos a mayor escala y los mapas temáticos, cada vez más numerosos, están mucho más dispersos. Los planos catastrales, tan necesarios para la geografía rural, pueden consultarse en los Ayuntamientos; otro tanto ocurre con los planos de ciudad o de urbanismo, para la morfología urbana. Pero es más difícil obtener innumerables mapas que ilustran temas muy variados, planos prospectivos de urbanismo, esquemas

directores de ordenación, y otros documentos elaborados por organismos privados o estatales.[3]

Por otra parte, los libros y artículos periódicos contienen una abundante ilustración cartográfica e iconográfica, a menudo original y rica, pero que no suele registrarse en las bibliografías ni en los boletines analíticos. Existen también importantes colecciones de croquis, mapas y fotografías, repartidas entre las cartotecas y fototecas de los servicios, y las oficinas y laboratorios de los investigadores. Todo este material está perdido, o es más o menos inutilizable, por no ser conocido ni estar catalogado. Deben por ello aplaudirse algunas recientes iniciativas, desgraciadamente aisladas, que intentan reagrupar y difundir, a partir de ficheros analíticos en tarjetas perforadas, y ficheros documentales en microfilms, lo esencial de toda esta información.[4]

Un problema suplementario es el de la disponibilidad para los investigadores de la documentación escrita en lenguas extranjeras. A pesar de que hoy abundan los resúmenes en inglés, se presentan dificultades de traducción, principalmente para las lenguas orientales, aún poco extendidas, como el ruso, el chino o el japonés. También aquí el recurso a la informática parece ser la mejor vía, y se han hecho ya ensayos (sobre todo en el BRGM, para las ciencias de la tierra) que pretenden establecer glosarios internacionales especializados, adaptables a las máquinas de traducir.

No es, pues, documentación lo que falta; por el contrario, ésta es más bien abundante y abarca un gran número de temas. Son su búsqueda y su adquisición las que no siempre resultan tan fáciles como sería deseable. Sin embargo, en el caso de trabajos originales, la información existente es siempre incompleta, o inadaptada. Es forzoso por ello volver al propio terreno, que es la fuente de las fuentes.

2. Observación y encuestas sobre el terreno

Los cartógrafos y geógrafos han sido siempre, por vocación, hombres de campo. Algunos de ellos han podido olvidarlo, seducidos por fuentes de información menos directas, como colecciones estadísticas o fotografías aéreas, que se manipulan en gabinete o en laboratorio, y permiten ganar tiempo. Pero el riesgo de perder contacto con la realidad viva es entonces grande; alejarse demasiado del terreno llega a ser en definitiva una enojosa aberración que debilita el sentido de lo concreto y disminuye por tanto la eficacia del investigador.

El recurso al terreno es indispensable en muchos casos; por ejemplo, cuando se pretende efectuar o precisar la localización e identificación de un objeto o de un hecho; una confianza excesiva en las fotografías aéreas y otros documentos puede conducir a graves errores en estos casos. La observación directa, y a escala, en el medio que se estudia tiene un valor irreemplazable. Nada hay más importante para el investigador que obtener por sí mismo la experiencia inmediata de su campo de investigación, ya se trate de un ambiente físico o humano, o de una combinación de ambos. Sin esta impregnación personal, ninguna comprensión profunda puede estar asegurada, ninguna afirmación, ningún juicio, pueden ser formulados o matizados con validez. Por otra parte, hay muchos datos que sólo pueden obtenerse sobre el propio terreno: medidas elementales, encuestas entre la población y las empresas, prelevantamientos de prueba destinados al estudio en gabinete, localizaciones precisas de actividades tan dispersas como las artesanas o comerciales, etc. Y esto es aún más evidente cuando se pretenden descubrir los resortes invisibles, psicológicos o socioeconómicos, de las relaciones humanas.

La investigación sobre el terreno no debe hacerse por tanto al azar, ni siquiera cuando se trate de explorar un medio desconocido, o se efectúe a lo largo de un itinerario impuesto. Generalmente, puede prepararse con anticipación, y en todo caso debe respetar algunas reglas simples. Fundamentalmente, consiste en extraer de la documentación disponible todo lo que pueda dar de sí. Los reconocimientos aéreos eliminan teóricamente muchas incertidumbres acerca de la elección de itinerarios. Pero esta preparación debe ser siempre muy crítica, pues hay que desconfiar tanto de la insuficiencia de los datos como de sus posibles errores. Una vez sobre el terreno, se procede un poco como en topografía (fig. 26): por itinerario sobre un

trayecto abierto o cerrado, por radiación, o por levantamiento a partir de puntos principales. Estos puntos privilegiados, o *estaciones*, cuidadosamente localizados y señalados, pueden ser: o bien puntos de observación directa, tales como cortes, canteras, perforaciones, lugares de encuestas, etc.; o bien puntos de vista, a partir de los cuales se puede intentar ampliar o generalizar las observaciones.

Esta investigación sobre el terreno, por indispensable que sea, no se basta a sí misma, ni deja de tener sus defectos. Es lenta, cara, y choca a menudo con dificultades reales; necesita también una cierta dosis de perspectiva, que permita encuadrar la observación local en un contexto más amplio, y pasar de la monografía de detalle al cuadro sintético de conjunto. Por supuesto, la parte de la investigación que se desarrolla sobre el terreno varía con la escala: debe ser minuciosa y prácticamente exclusiva cuando se efectúa a gran escala, y resulta cada vez menos necesaria cuando ésta decrece. De compilación en compilación, el terreno llega a ser una fuente cada vez más lejana, y es preciso entonces cambiar la metodología. Aunque no debe olvidarse que el terreno suministra datos cualitativos más seguros y algunas medidas más precisas, hay que saber que los datos cuantitativos más fiables, en materia económica y social, son generalmente los de las estadísticas oficiales. Sin embargo, estas estadísticas serán tanto más válidas cuanto más estrecho sea el campo de información: nación, provincia, municipio, explotación.

La investigación sobre el terreno se mezcla pues, constantemente y en diversos grados, con otros procedimientos y otras fuentes de información que permitan modular o completar el conocimiento directo adquirido sobre el medio, sus hombres y sus acciones. Entre estas fuentes, las más notables son la teledetección aérea y la documentación cuantitativa, o estadística.

3. Fotografía aérea y teledetección

Hemos visto precedentemente (pp. 141-148) las características de las fotografías aéreas y su utilización en cartografía topográfica. No es menos primordial su uso en cartografía temática, en cuyo

campo pueden desarrollarse estas aplicaciones con gran rapidez, a medida que se perfeccionan los métodos de foto-identificación y de foto-interpretación.

Desde el punto de vista de la cartografía temática, la fotografía aérea debe ser considerada bajo dos aspectos esenciales: primero, como un sistema de información que completa el conocimiento previo que pueda tenerse del terreno, sin reemplazarlo por completo; después, como un instrumento de coordinación, gracias a la visión global y plástica que proporciona de todo un territorio.

A) *Cualidades y defectos de la fotografía aérea*

La fotografía aérea registra, sobre una superficie sensible a la luz, las radiaciones emitidas por *todos* los objetos situados en el campo del objetivo. Constituye por tanto un *documento exhaustivo*, dentro de los límites del poder separador de la emulsión receptora. Por otra parte, es un documento relativamente fácil de obtener y de mantener al día. Es cierto que la cámara tomavistas, y más aún los vuelos mediante aviones o satélites, son bastante costosos; pero permiten cubrir rápidamente superficies muy grandes, y los procedimientos más recientes hacen posible una cierta independencia respecto a obstáculos tales como las malas condiciones atmosféricas, la cobertura vegetal, o incluso la noche.

En todo caso, la fotografía aérea es un documento que se puede examinar a placer en el laboratorio, empleando la visión en relieve mediante estereoscopio, de manera que el terreno puede ser observado en detalle, e incluso medido a domicilio, siempre que se guarden ciertas precauciones. Esta técnica es útil, por tanto, a todas las investigaciones espacio-temporales: no solamente a la topografía, sino también a la estructura, a la geomorfología, a la meteorología, a la biogeografía, a la ocupación del suelo, a los paisajes rurales y urbanos, a las comparaciones periódicas (diurnas, estacionales, anuales, decenales), a las investigaciones arqueológicas, a la prospección, etc. Las aplicaciones prácticas de la fotografía aérea son incontables, y por ello ha llegado a ser un recurso indispensable, y a veces la

única base, de los trabajos cartográficos de precisión, así como el auxiliar imprescindible de cualquier encuesta científica o técnica sobre el terreno.[5]

Pero al utilizar la fotografía aérea, es preciso estar en guardia contra algunos de sus caracteres intrínsecos, que hay que saber corregir o eliminar. Hemos dicho, por ejemplo (véase más arriba, p. 143), que la fotografía aérea es *deformante*, y que no puede servir de apoyo a la cartografía sin sufrir una serie de complicadas operaciones, necesarias para corregir las distorsiones de la imagen, las aberraciones de los instrumentos, e incluso los errores debidos a las reacciones fisiológicas y psicológicas del observador. Además, por ser la fotografía *no selectiva*, los detalles importantes para el tema tratado se mezclan en el clisé con otros inútiles, o de segundo orden. De ahí la necesidad de una interpretación, que siempre será muy subjetiva. Finalmente, la fotografía aérea no puede aislarse nunca del terreno, si se quiere conservar a lo largo del tiempo todo su valor, y buen número de operadores han aprendido esto a sus expensas. Por ello, conviene mantener una confrontación permanente entre la fotografía y el terreno, durante todo el desarrollo de la investigación. A partir de la fotografía, considerada como fuente de información y de medidas, que completa los datos de los mapas y del terreno, puede procederse a la interpretación y la generalización cartográficas. Pero habrá que volver varias veces al terreno, para verificar y completar; solamente así la fotografía aérea conservará todo su valor como guía en la expresión definitiva de los resultados.

B) *Emulsiones*

Naturalmente, el interés científico de las fotografías aéreas depende de las cualidades técnicas de la cámara tomavistas, y de las emulsiones empleadas para registrar las imágenes. Se trata de impresionar, con el máximo contraste, las diferencias de luminosidad de los objetos situados dentro del campo óptico, de modo que puedan distinguirse entre sí e identificarse mejor. Con este fin, se utilizan normalmente cuatro tipos principales de emulsiones:

— Las emulsiones *pancromáticas*, en blanco y negro, que son sensibles a las radiaciones visibles de 0,4 a 0,7 μ de longitud de onda. Para obtener mayor nitidez, se toman las vistas a través de un filtro amarillo, que absorbe una parte de la radiación azul producida por el agua suspendida en la atmósfera. Los objetos y las superficies se diferencian en la imagen por tonalidades relativas de gris, entre el negro y el blanco.

— Las emulsiones *infrarrojas* (IR), igualmente en blanco y negro, que captan las radiaciones de 0,4 a 0,9 μ. Mediante filtros rojos o anaranjados, pueden eliminarse el azul y el ultravioleta, atravesándose así el velo atmosférico (aunque no las nubes), lo que refuerza los contrastes y asegura la nitidez de los contornos. Además, la radiación infrarroja es absorbida por el agua, que se delata por manchas muy negras sobre la imagen. Las emulsiones de este tipo se adaptan pues perfectamente al estudio de costas, redes hidrográficas, cosechas, y grado de humedad de los suelos. Al ser reflejada por la clorofila, la radiación infrarroja permite además distinguir mejor los vegetales verdes, más claros, de los resinosos, por ejemplo. Finalmente, estas emulsiones son también sensibles a la radiación de los cuerpos calientes, lo que recomienda su empleo en casos de detección o recuento de animales, motores, superficies recalentadas, etc. En cambio, producen sombras más densas que los clisés pancromáticos, por lo que es más difícil la lectura sobre ellas de los detalles.

— Las emulsiones en *colores naturales*, que se impresionan sobre tres capas superpuestas, sensibles respectivamente al azul, al verde y al rojo, y permiten la reconstitución sintética del espectro de los colores visibles. Proporcionan por ello una imagen familiar de la realidad. Desgraciadamente, su coste es elevado y los contornos suelen estar faltos de nitidez, debido a la absorción parcial del azul por la humedad atmosférica.

— Las emulsiones en *falso color*, compuestas por capas sensibles al verde, al rojo y al infrarrojo, que traducen los contrastes del terreno por colores diferentes de los reales, pero característicos. Por ejemplo, las plantas con clorofila, que reflejan el infrarrojo, aparecen en rojo, las coníferas en azul, los cultivos en amarillo o verde, las zonas húmedas en púrpura, etc. Es necesaria una educación particular

del ojo para poder interpretar rápidamente las fotografías; pero, una vez adquirida ésta, algunas identificaciones se facilitan enormemente, sobre todo en las que se refieren a investigaciones sobre la vegetación y la ocupación del suelo.

C) *Sensores*

Recientemente, nuevos procedimientos de registro a distancia *(sensores remotos)* han venido a engrosar poco a poco el arsenal de los medios de teledetección. No se recurre ya a las radiaciones visibles, sino a las térmicas o electromagnéticas, cuya repartición espacial, trasladada a la película, proporciona una "imagen" representativa de ciertas cualidades notables del terreno. Los documentos obtenidos no son propiamente fotografías, sino mapas de distribución de algunos valores físicos, cuya interpretación completa útilmente la de las tomas habituales. Los principios de estos *sensores*, o *captadores-detectores*, son los siguientes:

—La *termografía*, que consiste en recoger línea por línea, según un barrido termosensible, las ondas de 1 a 25 μ emitidas por el terreno, en el campo de detección del receptor. Las superficies calientes (carreteras, fábricas, fuentes térmicas diversas) se distinguen así claramente de las frías (suelos húmedos, aguas).

— Las *"imágenes" radar*, obtenidas por reflexión de las ondas milimétricas emitidas por el mismo aparato detector, delatan bien las desigualdades del suelo, y se utilizan en la investigación geológica y en la prospección de materiales de superficie. Este procedimiento tiene además la ventaja de atravesar, con cualquier tiempo y a cualquier hora, la capa de nubes, así como el follaje, la nieve, etc.

— Los *registros magnéticos*, mediante magnetómetros aerotransportados muy sensibles, permiten detectar bajo las capas superficiales del terreno masas geomagnéticas profundas, de gran importancia en las investigaciones estructurales y mineras.

D) *Foto-identificación y foto-interpretación*

El carácter múltiple y complementario de los documentos aéreos facilita su utilización práctica. Hay que considerar dos casos esenciales en las aplicaciones, que se suceden en el tiempo, y cuyos métodos y objetivos son diferentes:

La *foto-identificación*, que es el arte de reconocer las formas y los objetos que figuran en la imagen. Es preciso para ello recurrir a la experiencia personal que el observador pueda tener de esas formas y objetos, es decir, a su propio conocimiento del terreno. Es preciso también apoyarse en la comparación permanente de las imágenes desconocidas con las conocidas, con la ayuda de *claves* relativas a los contrastes de tonos y de valores entre las manchas, a su tamaño relativo o absoluto, a su estructura y su textura, y a sus relaciones con el entorno. La percepción estereoscópica de la tercera dimensión y la forma de las sombras arrojadas constituyen también medios de diferenciación. Pero la identificación definitiva resulta, en general, de la reunión de varios caracteres, e incluso de la confrontación de varios documentos, tomados en momentos diferentes o con distintas emulsiones. Ciertamente, esta operación es muy subjetiva, por lo que el control sobre el terreno sigue siendo necesario. Se intenta, no obstante, aumentar el grado de objetividad, mediante una automatización cada vez más completa: detección automática de las zonas de igual densidad luminosa, o de otros caracteres homólogos (estructura, textura), almacenamiento de la información sobre registros en bandas, en vez de sobre clisés, etc.

La *foto-interpretación*, que es el estudio racional de los elementos identificados, con objeto de determinar su significación, su importancia relativa y sus correlaciones. Es esta una operación que compete exclusivamente al investigador; no hay buen foto-intérpretador que no sea un buen especialista. La fotografía aérea es para el investigador como el propio terreno: una fuente documental de gran valor; pero es también un instrumento que le permite considerables ganancias de tiempo, y le ofrece un punto de vista original y generali-

zador que, en algunos casos, puede incluso renovar completamente el espíritu y la técnica de las investigaciones. La *transcripción cartográfica* (distribución) de los objetos más interesantes (selección), su comparación con datos diferentes (evolución o flujo), y la puesta en evidencia de sus relaciones dinámicas (correlaciones) están, juntamente con el metódico análisis espacial de la imagen, en la base misma de la investigación geográfica.

4. Estadística y datos cuantitativos

El investigador no puede efectuar directamente todas las medidas necesarias. Algunas de ellas requieren medios materiales de investigación, de transmisión o de tratamiento que sólo pueden ser de tipo colectivo; muchas son realizadas, reunidas y publicadas por los servicios públicos; otras por organismos u oficinas privados.

La documentación del sector público es de acceso relativamente fácil, salvo la de orden fiscal. Debería definirse claramente el derecho de acceso a la información, reservando el secreto de actuación de las personas. Los principales proveedores son las administraciones centrales, regionales, provinciales y municipales, que publican con desiguales criterios documentos oficiales o compilaciones periódicas, y los servicios, oficinas o institutos especializados.[6] También pueden consultarse sin demasiadas dificultades algunos ficheros de mano de obra, de explotaciones, o electorales; lo mismo ocurre con los catastros, censos, registros de estado civil y archivos locales que contienen presupuestos, proyectos, y balances. *La Documentation française* [7] difunde documentos oficiales acerca de algunos problemas básicos, y también informes, estudios y mapas.

A nivel internacional, existen en la mayor parte de los Estados documentos similares a los franceses. Otros proceden de organismos internacionales, tales como la ONU, la FAO, la Unesco, la CEE, etcétera.

En todas estas fuentes se reconoce la preocupación por la objetividad, y a veces incluso por una cierta exclusividad. Pero la recogida de la información o, en todo caso, la publicación de los correspondientes datos, están generalmente referidas a marcos geográficos demasiado amplios (municipios, departamentos, o incluso Estados) y por ello sólo permiten estudios de conjunto a pequeña o media escala.

La documentación del sector privado suele responder mejor a las exigencias de las investigaciones de detalle. A nivel de explotaciones, por ejemplo, pueden obtenerse estados de cuentas, balances de empresa y actas de negociaciones o transacciones, que aclaran bastantes aspectos geográficos de la economía, de los que las actas publicadas por los consejos de administración no dan más que un pálido reflejo. En el dominio rural, las actas notariales, utilizables en historia, serían actualmente una fuente excepcional; pero el acceso a estos documentos es muy difícil, cuando no imposible, por el secreto debido a las personas vivas y, en un plano más amplio, por la defensa contra el fisco, la competencia y el espionaje industriales. En efecto, las operaciones de prestigio, del tipo "puertas abiertas" o "casa de cristal" son raras, y siempre sospechosas por su carácter partidista y, por lo tanto, tendencioso.

Existe también una documentación cuantitativa privada, de carácter más colectivo, que se mantiene al día algunas veces, a media o gran escala, y que viene a reforzar, completar o corregir la documentación oficial. Suele ser difundida por las cámaras de comercio o de industria, los sindicatos, las revistas especializadas en demografía, en finanzas o en economía; o bien es suministrada, cuando se solicita, por muchos despachos y oficinas de estudios, de investigaciones o de propaganda, frecuentemente con un coste bastante elevado. Aunque abundante, esta documentación cuantitativa es incompleta y desigual en calidad, pero no por ello menos indispensable como información básica en toda cartografía temática seria. Sus mismos defectos muestran hasta qué punto no puede utilizarse sin, antes, ser cuidadosamente ciriticada, verificada, experimentada y, finalmente, confrontada con la realidad del terreno.

5. Tratamiento preparatorio de los datos

Los datos en bruto, una vez recogidos y confirmados, deben aún ser sometidos a tratamiento. Primero, a un tratamiento de investigación; es decir, análisis y síntesis parciales, seguidos por una síntesis global. Después, a un tratamiento de transmisión; es decir, exposición de las conclusiones y difusión de las mismas. En cartografía, estos tratamientos van siempre acompañados de una confrontación con el espacio geográfico, es decir, con las componentes de localización (p. 70).

El tratamiento clásico de los datos era, y es todavía hoy en gran parte, un tratamiento artesano, a nivel de individuo o de taller. Consiste, en primer lugar, en ordenar las informaciones en cuadros de doble entrada, una de las cuales define el valor de la variable, y la otra su localización. Estas matrices pueden así compararse y relacionarse ya sea mediante el cálculo,[8] o por yuxtaposición o superposición visual de mapas analíticos.

Este uso alterno del cálculo y de la cartografía conduce, mediante generalizaciones sucesivas, a la definición y localización de *zonas homogéneas*, de *polos* y de *centros de gravedad*, que constituyen la expresión espacial más tangible de la regionalización. Desgraciadamente, este método concreto es lento, y demasiado a menudo subjetivo; carece del rigor aparente de las construcciones matemáticas de la "nueva geografía".[9] Pero, al menos, tiene el mérito de evitar que se pierda de vista el factor esencial de localización. Y además puede perfeccionarse en muchos aspectos: en efecto, la máquina calculadora toma a su cargo actualmente las fastidiosas operaciones manuales, y unos ingeniosos dispositivos facilitan el uso de las tablas y matrices, así como la situación automática de los datos sobre el mapa.[10]

Pero el cartógrafo, por su necesidad de reunir una información exhaustiva sobre el espacio a cubrir, se encuentra con más frecuencia que otros investigadores ante un volumen tal de datos, que el trabajo a realizar resulta a veces desconcertante. Esto ocurre especialmente en geografía humana y económica, cuando deben suministrarse resultados gráficos dentro de plazos que sean compatibles con su utilización eficaz. Existen demasiadas obras de este género, cuidadosamente realizadas, que parecen documentos históricos más que temas de actualidad. Por ello, es necesario producir el documento rápidamente, sobre todo si está pensado para la acción o para la aplicación. De donde se explica la tendencia a aprovechar, primero tímidamente, después de un modo cada vez más acelerado, las nuevas posibilidades ofrecidas por el ordenador y por el consiguiente tratamiento automático de la información.

En efecto, la informática aporta a estas necesidades una ayuda incomparable, y esto en varios campos:

— Primero, en la *compilación de las informaciones. Los bancos de datos*, que hoy día se multiplican por todas partes, prometen ser un instrumento precioso en un futuro próximo. Por el momento, la mayor parte son todavía incompletos y están mal coordinados, puesto que han sido establecidos generalmente por empresas independientes y dispersas. Pero se hacen muchos esfuerzos para armonizarlos, al menos en el plano nacional.[11] Además, el problema preliminar de la colecta de datos y su localización es todavía muy preocupante, sobre todo para la cartografía. Los trabajos de censo y encuesta deben ser repensados en función de la informática, y será preciso edificar toda una nueva metodología. En particular, muchas cosas dependerán de las redes de referencia espacial que habrán de sustituir a las actuales unidades estadísticas, constituidas por divisiones administrativas. Algunos países poseen ya mallas de cuadrículas kilométricas o hectométricas, o bien adaptadas a las manzanas (cuadras), para estudios urbanos; todos los datos se refieren a los centros de dichas cuadrículas. En cambio, el problema de la conservación de los datos recogidos está ya resuelto con la ayuda de soportes que pueden ser mecanográficos, como fichas o bandas perforadas, o magnéticos, como cintas o discos. La holografía, todavía en estado experimental, promete desempeñar en breve un papel decisivo en este campo. Una clasificación por rúbricas *(thesaurus)*, ordenadas según el inventario de los lugares (x e y) y de las observaciones (z), y puesta al día continuamente, facilita la consulta y la explotación de los ar-

chivos de información.

De este modo pueden obtenerse respuestas casi instantáneas, tanto acerca de las propias fuentes (documentación automática), como sobre las informaciones que ellas contienen (búsqueda de la información seleccionada).

— Después, en el *tratamiento lógico de la información*. Enlazado con el ordenador, el banco de datos hace posibles muy diversas operaciones, no importa lo complicadas que éstas sean; pueden realizarse rápidamente la separación, la selección y la clasificación, así como la referencia a los archivos, en el estudio de las evoluciones demográficas o socio-económicas, por ejemplo. También se facilitan todos los cálculos estadísticos, analíticos o analógicos, y el establecimiento de coeficientes de correlación. Es además muy importante la capacidad para resolver fácilmente algunos problemas de investigación operacional, tales como la determinación de implantaciones óptimas o el trazado de grafos de flujo y de redes, en función de las circunstancias locales.

— De todo lo anterior, no hay más que un paso para llegar a la construcción de *modelos*, es decir, de sistemas que simulan las relaciones existentes entre los sucesos observados o proyectados, con los que pueden compararse los procesos reales, y que constituyen a la vez elementos de explicación y de referencia para la toma de decisiones. Es éste un campo original, todavía poco explorado, pero pleno de promesas, gracias al impulso de la investigación y de la síntesis en geografía.

— Finalmente, en la *expresión de los resultados*, la informática permite "salidas" [12] adecuadas a cada una de las necesidades: expresiones numéricas, curvas y diagramas, o cartografía automática. En este último caso, la presentación del mapa final puede ser fugaz, sobre pantalla catódica, para consultas rápidas, comparaciones o correcciones. O bien permanente, en forma impresa, con una estética general que resulta todavía un poco extraña, pero a cuyos rasgos habrá que habituarse en lo sucesivo (véase más adelante, p. 260).

Por seductor que sea, este método tiene sus límites, que sería imprudente ignorar. En efecto, no puede pedirse a la máquina más de lo

[redacted] ahí la necesidad de buenas informaciones [redacted]adas a una investigación automatizada, se reúnen, sin embargo, por los métodos clásicos de encuesta sobre el terreno y teledetección. Además, si bien el tratamiento por ordenador es rápido, la carga en memoria (perforación, registro) puede ser larga y costosa, incluso a veces más que en un simple tratamiento de tipo artesano. Por todo ello, hay umbrales que no deben sobrepasarse, dependiendo de la importancia del trabajo y de que su carácter sea ocasional o permanente. No debe olvidarse que el análisis científico es, por lo general, muy diferente de la gestión, a la que el ordenador está perfectamente adaptado; el primero se refiere a menudo a casos especiales, y no a series repetitivas, de manera que el rendimiento y la rentabilidad de las operaciones automáticas no siempre están asegurados. Queda sólo por decir que el tratamiento automático de los datos es una perspectiva esencial de la investigación, y de todos modos inevitable, sobre todo en cartografía. Por otra parte, es capaz no solamente de mejorar, sino de trastornar los métodos de trabajo; e incluso, con tiempo suficiente, de modificar las corrientes del pensamiento científico.

II. DIFERENTES TIPOS DE MAPAS TEMÁTICOS

Los tipos de mapas temáticos son, naturalmente, tan numerosos como las clases de temas a tratar. Basta para comprobarlo con recorrer el índice de materias de un gran atlas moderno. El Comité francés de cartografía ha intentado establecer una lista,[13] que es más un cuadro de clasificación que un inventario exhaustivo, imposible de realizar. Sin embargo, desde el punto de vista metodológico, y atendiendo a su contenido, se pueden dividir los mapas temáticos en tres o cuatro categorías fundamentales, abarcando cada una varias subdivisiones. Se distinguen así los mapas analíticos de los sintéticos, y los estáticos (que representan una determinada situación temporal) de los dinámicos, o mapas de movimiento. Saber escoger entre estas diferentes expresiones, de acuerdo con el fin perseguido, constituye el objeto de la *metacartografía*.[14]

chivos de información.

De este modo pueden obtenerse respuestas casi instantáneas, tanto acerca de las propias fuentes (documentación automática), como sobre las informaciones que ellas contienen (búsqueda de la información seleccionada).

— Después, en el *tratamiento lógico de la información.* Enlazado con el ordenador, el banco de datos hace posibles muy diversas operaciones, no importa lo complicadas que éstas sean; pueden realizarse rápidamente la separación, la selección y la clasificación, así como la referencia a los archivos, en el estudio de las evoluciones demográficas o socio-económicas, por ejemplo. También se facilitan todos los cálculos estadísticos, analíticos o analógicos, y el establecimiento de coeficientes de correlación. Es además muy importante la capacidad para resolver fácilmente algunos problemas de investigación operacional, tales como la determinación de implantaciones óptimas o el trazado de grafos de flujo y de redes, en función de las circunstancias locales.

— De todo lo anterior, no hay más que un paso para llegar a la construcción de *modelos*, es decir, de sistemas que simulan las relaciones existentes entre los sucesos observados o proyectados, con los que pueden compararse los procesos reales, y que constituyen a la vez elementos de explicación y de referencia para la toma de decisiones. Es éste un campo original, todavía poco explorado, pero pleno de promesas, gracias al impulso de la investigación y de la síntesis en geografía.

— Finalmente, en la *expresión de los resultados*, la informática permite "salidas" [12] adecuadas a cada una de las necesidades: expresiones numéricas, curvas y diagramas, o cartografía automática. En este último caso, la presentación del mapa final puede ser fugaz, sobre pantalla catódica, para consultas rápidas, comparaciones o correcciones. O bien permanente, en forma impresa, con una estética general que resulta todavía un poco extraña, pero a cuyos rasgos habrá que habituarse en lo sucesivo (véase más adelante, p. 260).

Por seductor que sea, este método tiene sus límites, que sería imprudente ignorar. En efecto, no puede pedirse a la máquina más de lo

que en ella se introduce; de ahí la necesidad de buenas informaciones básicas que, aunque destinadas a una investigación automatizada, se reúnen, sin embargo, por los métodos clásicos de encuesta sobre el terreno y teledetección. Además, si bien el tratamiento por ordenador es rápido, la carga en memoria (perforación, registro) puede ser larga y costosa, incluso a veces más que en un simple tratamiento de tipo artesano. Por todo ello, hay umbrales que no deben sobrepasarse, dependiendo de la importancia del trabajo y de que su carácter sea ocasional o permanente. No debe olvidarse que el análisis científico es, por lo general, muy diferente de la gestión, a la que el ordenador está perfectamente adaptado; el primero se refiere a menudo a casos especiales, y no a series repetitivas, de manera que el rendimiento y la rentabilidad de las operaciones automáticas no siempre están asegurados. Queda sólo por decir que el tratamiento automático de los datos es una perspectiva esencial de la investigación, y de todos modos inevitable, sobre todo en cartografía. Por otra parte, es capaz no solamente de mejorar, sino de trastornar los métodos de trabajo; e incluso, con tiempo suficiente, de modificar las corrientes del pensamiento científico.

II. DIFERENTES TIPOS DE MAPAS TEMÁTICOS

Los tipos de mapas temáticos son, naturalmente, tan numerosos como las clases de temas a tratar. Basta para comprobarlo con recorrer el índice de materias de un gran atlas moderno. El Comité francés de cartografía ha intentado establecer una lista,[13] que es más un cuadro de clasificación que un inventario exhaustivo, imposible de realizar. Sin embargo, desde el punto de vista metodológico, y atendiendo a su contenido, se pueden dividir los mapas temáticos en tres o cuatro categorías fundamentales, abarcando cada una varias subdivisiones. Se distinguen así los mapas analíticos de los sintéticos, y los estáticos (que representan una determinada situación temporal) de los dinámicos, o mapas de movimiento. Saber escoger entre estas diferentes expresiones, de acuerdo con el fin perseguido, constituye el objeto de la *metacartografía.*[14]

A) *Mapas analíticos*

Los mapas analíticos representan la extensión y repartición de un fenómeno dado (o de un grupo de fenómenos relacionados, o de un aspecto particular de un fenómeno), sin otro fin que el de precisar sus relaciones con el espacio geográfico: posición, altitud, alejamiento del mar, orientación, etc. Los planos, los mapas topográficos y los mapas de compilación, ya estudiados, son ejemplos que pueden citarse. En gran medida, todo mapa analítico es también un *mapa de referencia*; es decir, una especie de inventario de hechos debidamente localizados.

Cuando el fenómeno estudiado es puntual, o si, en función de la escala, puede ser asignado a un centro puntual, el signo representativo es igualmente puntual, y por tanto discontinuo. El conjunto de estos puntos constituye una nube, con zonas de densidades diferentes. Estas variaciones de intensidad del punteado permiten apreciar visualmente, en una lectura global, la repartición general de las componentes. En una lectura más detenida, pueden contarse los puntos y, como consecuencia, evaluar cuantitativamente la importancia del fenómeno. Normalmente se designa a este tipo de documentos con el nombre de *mapas de distribución*; por ejemplo, los de población, ciudades, mercados, etc.

Cuando el fenómeno es lineal, el signo será asimismo lineal, y su longitud medible, a escala; según los casos, puede ser continuo o discontinuo, ramificado o formado por elementos aislados. La representación ofrece una imagen directa y sugestiva de las relaciones jerárquicas entre las componentes, de su independencia o de sus vínculos, de las zonas de convergencia o divergencia, y de la forma y dimensión de las figuras así formadas. De este tipo son los *mapas de redes*: redes hidrográficas, de ferrocarriles, de carreteras, y también de vallas y cercados, de límites administrativos, de ejes tectónicos, etc.

Cuando el fenómeno es de implantación zonal, es decir, extendido en superficie y dispuesto en islotes independientes o en zonas yuxtapuestas, puede ser representado, en negro o en color, por símbolos figurativos, con valores o estructuras diferentes. La forma y la

extensión del símbolo vienen determinadas por sus límites reales (calles, vallas, discontinuidades materiales) o por contornos abstractos (límites administrativos o jurídicos, curvas isopletas), que permiten determinar su superficie, en función de la escala. La disposición de los símbolos sobre el plano informa acerca de la repartición global del fenómeno. De este tipo son los *mapas corocromáticos*, monocromos o policromos; por ejemplo, los hipsométricos, los geológicos, los planos de ciudades, los mapas "políticos" (de Estados o de provincias), etc.

B) *Mapas sintéticos*

Los mapas sintéticos son, en general, más complicados. Se trata de *mapas de explicación* o *de presentación*, más que de referencia; agrupan, por superposición o por transformación, los datos de varios mapas analíticos, y pueden tomar formas muy distintas.

Los *mapas de correlación* combinan, sobre un mismo fondo, las variables múltiples cuyas relaciones se quieren explicitar. Su objeto es poner en evidencia las relaciones existentes entre varios fenómenos. En este sentido, los mismos mapas analíticos son también de correlación, puesto que comparan el fenómeno estudiado con el espacio geográfico, tal y como está representado. Pero los verdaderos mapas de correlación están especialmente elaborados para dar al lector una visión directa de la comparación de varios datos, y de las consecuencias que de ella se derivan (véase más adelante, pp. 212-226). Por ejemplo, los mapas geomorfológicos detallados, o los de ocupación del suelo, reúnen todos los elementos necesarios para poder comprender estos aspectos del paisaje físico o humano. Al mismo tiempo, su confrontación visual al nivel de lectura de conjunto, hace aparecer los aspectos regionales de las relaciones entre las diversas variables. Los mapas de correlación facilitan así la búsqueda de zonas homogéneas (véase más atrás, pp. 42-44), que constituyen las bases de la regionalización.[15]

Los *mapas tipológicos* insisten más sobre las combinaciones es-

pecíficas que tienen lugar sobre cada una de las porciones del espacio, que sobre los elementos analíticos básicos que han permitido definirlas. El tratamiento de la información se hace previamente en otros documentos, ya sean mapas analíticos o de correlación, o por medio de cualquier otro procedimiento lógico o informático, y de él solamente se exponen los resultados. En definitiva, estos mapas conducen también a una regionalización, pero lo que se cartografía son las categorías, o *tipos*, del fenómeno. Cada uno de estos tipos constituye una unidad taxonómica, o *taxon*, característica de una *zona homogénea*, representada por un símbolo cuyo significado se explica en la leyenda, o en una nota. Por ejemplo, los mapas edafológicos usuales [16] representan la extensión de los diversos tipos de suelos, unidades complejas cuya definición ha sido formulada en una clasificación previa. Del mismo modo, algunos mapas geomorfológicos [17] pueden individualizar unidades caracterizadas simultáneamente por su altitud, sus cortes, su material y su estilo topográfico. O ciertos mapas de paisajes rurales [18] pueden integrar, para cada categoría cartografiada y a través de un concepto fisionómico, datos climáticos, edafológicos, históricos, sociológicos, económicos, etc.

C) *Mapas estáticos y mapas dinámicos*

Tanto los mapas analíticos como los sintéticos pueden tratarse, según las necesidades, haciendo intervenir el factor tiempo con dos perspectivas distintas:

— El *punto de vista estático*, que consiste en tratar el tema en un momento determinado, como en una instantánea fotográfica.

De este tipo son los *mapas sinópticos*, que dan una imagen precisa, pero pasajera, del fenómeno representado: "en el instante *t*, en tal lugar, pasaba esto". Su interés depende de la rapidez en la recolección de datos, los cuales deben ser homogéneos y simultáneos; depende también del tiempo durante el cual puede concederse validez a la imagen obtenida. En parte, estos mapas se justifican en la medida en que la combinación instantánea representada resulta significativa

para el futuro. Por ejemplo, los mapas de observaciones tomadas a horas fijas que publican los servicios meteorológicos, contienen los elementos necesarios para prevenir el tiempo; los mapas de intensidad de circulación sobre una red a las horas punta, permiten abordar una utilización más racional de sus vías. Por las mismas razones, pueden construirse mapas sinópticos siempre que la expresión instantánea del fenómeno tratado sea característica durante un tiempo suficientemente largo. Por ejemplo, los resultados de un censo sólo son válidos a escala quinquenal; un mapa del relieve, en cambio, es prácticamente invariable; etc.

Para evitar este carácter demasiado fugaz de los mapas sinópticos, sobre todo de los meteorológicos y económicos, se ha recurrido frecuentemente a *mapas de medias*. El fenómeno representado se cuantifica en ellos por una media, calculada a partir de una sucesión de levantamientos, que pueden ser de tipo continuo (registros) o discontinuo (sondeos periódicos). Estos mapas suelen complementarse con otros de extremos, medios o absolutos, de medianas, de desviaciones típicas, etc. La imagen es en estos casos más abstracta, pero puede considerarse como característica de una duración más larga que la que correspondería a una imagen instantánea.

En todo caso, los mapas estáticos deben ser siempre cuidadosamente fechados, a veces con aproximación de día y hora; deben mencionarse, al menos, los límites del período a que corresponde la media.

— El *punto de vista dinámico*, que se propone mostrar sobre el mapa el sentido y el valor de las modificaciones que se han producido, o se producirán, en un intervalo de tiempo dado.

Un primer método consiste en utilizar una serie de mapas estáticos, producidos a intervalos regulares, y compararlos por sucesión, como las imágenes de una película. Sería relativamente fácil pasar, por este medio, a una cartografía animada que el talento de los cartógrafos podría hacer muy evocadora. Pero como no se dispone siempre de la documentación necesaria para el análisis de todas las etapas, hay que limitarse normalmente a confrontar, sobre el mismo documento, el estado inicial y el estado final del fenómeno, en el in-

tervalo de tiempo considerado. Se pueden distinguir así dos clases de mapas dinámicos:

- los *mapas de flujo*, que tratan de los desplazamientos en el espacio: nomadismo, trashumancia, migraciones periódicas o pendulares y, de un modo general, todos los fenómenos de circulación o transporte de personas, productos, energía, ideas, etc.
- los *mapas de evolución*, que se ocupan esencialmente de los cambios de estado de un fenómeno en el transcurso del tiempo: historia de un desarrollo, planes de crecimiento y esquemas directores, balance de una operación, saldos demográficos, mapas geodinámicos, etc.

III. TEMAS ANALÍTICOS

Para comprender bien el espacio complejo que el terreno y la fotografía aérea revelan al observador, conviene hacer, tarde o temprano, un análisis del mismo. Por lo tanto, el cartógrafo deberá tratar gráficamente un cierto número de temas analíticos:

— En primer lugar, los *problemas de localización* sobre el *fondo de referencia del mapa*; es decir, las relaciones entre los objetos o conceptos estudiados y el espacio geográfico.

— Después, las cuestiones de representación selectiva: *problemas de cualificación y diferenciación* de los objetos, y *problemas de clasificación y comparación.*

— Algunos de los fenómenos así aislados mantienen entre sí dependencias numéricas significativas, que requieren una representación de sus *relaciones y proporciones, y otros valores estadísticos.*

— Otros deben además compararse con la distancia o el tiempo, lo que origina *problemas dinámicos*, que no son los menos delicados que el cartógrafo debe resolver.

1. PROBLEMAS DE LOCALIZACIÓN. EL FONDO DE REFERENCIA DEL MAPA

La confrontación permanente de los objetos estudiados con el espacio geográfico es el carácter específico de la cartografía. Los problemas de localización y de puesta en situación deben ser por eso cuidadosamente tratados. Se establece para ello una malla de referencia cuidadosamente elegida; la más universal es la red geográfica de coordenadas terrestres: longitud, latitud y altitud. Pero, en el plano local, existen otros sistemas de referencia más familiares y concretos, que se emplean frecuentemente por su sencillez: por ejemplo, los contornos litorales, el esquema orográfico, las redes hidrográficas, los límites administrativos, los lugares habitados y las vías de comunicación. Esta localización responde a dos tipos de interés del lector: por una parte, el de recibir una impresión óptica, inmediata y global, de la repartición del fenómeno que le interesa; por otra, el de disponer de la mayor precisión posible en las medidas eventuales.

El conjunto de elementos de referencia constituye el *fondo de referencia del mapa*, que debe estar perfectamente adaptado al tema cartografiado. Establecer este fondo de referencia constituye el primer trabajo del cartógrafo que aborda el tratamiento de una información dada, lo que pone a prueba tanto su perspicacia de especialista como su competencia técnica, puesto que exige de él decisiones importantes, de las que dependerá el valor del mapa (precisión, claridad) y su eficacia (adaptación al sujeto). Y, por otra parte, le obliga a menudo a desarrollar una habilidad gráfica apropiada.

Cuando se trata de mapas a gran escala, basta con efectuar una selección razonable de los elementos que figuran en los mapas topográficos; los elegidos se trasladan simplemente a un calco, que servirá como fondo de trabajo y se completará, según las necesidades, con informes inéditos recogidos sobre el terreno, de fotografías aéreas, o de otros mapas más especializados. Algunos de estos datos deben figurar obligatoriamente en todos los fondos de referencia cartográficos, cualesquiera que sean. Por ejemplo, las coordenadas geo-

gráficas, (paralelos y meridianos), que algunas veces podrán reducirse a ciertas indicaciones al margen, suponiendo que estén convenientemente reseñadas, y otras se completarán, por el contrario, mediante un cuadriculado kilométrico. Otro ejemplo pueden ser las cotas, o una red hidrográfica más o menos detallada. También debe incluirse siempre una selección de las principales localidades y vías de comunicación.

Pero existen otros elementos que sólo se conservarán cuando el tema lo exija. Por ejemplo, la representación más o menos detallada del relieve. Un mapa geológico, o geomorfológico, difícilmente podría prescindir de las curvas de nivel, a equidistancia reducida. Lo mismo ocurrirá con un mapa de ocupación del suelo, a menos que se prefiera incluir en él datos sobre pendientes [19] (fondo clinográfico). En cambio, en un mapa económico, puede bastar con niveles hipsométricos, o incluso es posible renunciar totalmente al relieve. La mayor parte de los mapas de carreteras solo consignan algunas cotas de altitud, o sugieren formas orográficas por medio de sombreados. A veces, basta con la propia densidad de la red hidrográfica para diferenciar, por sus convergencias y divergencias, las regiones bajas de las dominantes.[20] En cuanto a los límites administrativos, imprescindibles en los mapas que tratan datos estadísticos, pueden suprimirse en la mayoría de los mapas físicos.

Cuando se trata de mapas a pequeña o media escala, el fondo de referencia suele estar menos detallado. Los principios de elección siguen siendo los mismos, pero los elementos pueden ser más sumarios, o más esquematizados. En cambio, hay que prestar una mayor atención a los sistemas de protección, para adaptarlos a los fines del mapa, y en todo caso para que la deformación de aquellos valores que se quieren comparar sea la menor posible. Los fondos de referencia a pequeña y media escala se toman de los mapas derivados, de los de compilación o de los atlas. Es raro que se construya expresamente en estos casos una red especial de proyección.

Naturalmente, la precisión de la localización disminuye con la escala; a gran escala, es posible representar gran cantidad de objetos, proyectados en verdadera magnitud proporcional, y centrados con una precisión del orden del error gráfico; en cambio, a pequeña escala, el símbolo puede seguir centrado, pero es cada vez más simbólico; además, por la necesidad de exagerar los detalles significativos, la localización es menos fiel y exacta. Sólo queda decir que, con la precisión dada por la escala, el fondo geográfico constituye un sistema continuo de referencia, que es el soporte de los datos propiamente geográficos que se proponen al lector.

2. Problemas de calificación y de diferenciación

Para cartografiar bien, hay que saber primero definir bien. Pero el identificar y calificar con precisión los objetos que van a ser representados es un problema que pasa por la competencia del especialista, antes que por la del cartógrafo. A menudo es incluso un problema muy controvertido, dado el hecho de que no todos los especialistas dan el mismo sentido a las mismas palabras. Es preciso, por tanto, hacer, al nivel de redacción cartográfica, un esfuerzo de identificación, y de vocabulario muy provechoso, semejante al que se impone al nivel de entrada en un banco de datos.

Aun suponiendo que el acuerdo se haga sobre cada definición, o *taxon*, falta todavía establecer una cierta jerarquía en la taxonomía. El objeto elemental puede agruparse con otros objetos, en conjuntos cada vez más amplios. Vuelve a imponerse aquí la noción eminentemente cartográfica de escala, puesto que ésta debe estar adaptada al nivel taxonómico en que se sitúa la investigación o la demostración. Así, a gran escala, la unidad cartográfica es el mismo objeto geográfico: procesos, formaciones, rupturas de pendiente, en un mapa geomorfológico; o especies cultivadas, forma de las parcelas, disposición de las edificaciones, en un mapa de ocupación del suelo. El levantamiento de estos objetos requiere una encuesta precisa, sobre el terreno o sobre fotografías aéreas, pero su identificación no ofrece demasiadas dificultades. A pequeña escala, las unidades cartográficas son el grupo, la categoría o el tipo; se trata ahora de conceptos taxonómicos, más difíciles de captar, cuyas definiciones implican una elección científica, es decir, un contenido explicativo y de síntesis, más o menos contaminado de subjetividad. Citaremos como

ejemplo las unidades estructurales o morfoclimáticas, los tipos de ocupación del suelo, los modelos económicos, etc. Hay que señalar también que el cartógrafo depende de fuentes que a menudo se le escapan, y que no le suministran forzosamente aquellos hechos que son más utilizables en cartografía. La definición de los objetos y grupos es de competencia del especialista. Pero, una vez adoptada la definición, el cartógrafo debe saber situar en el mapa los objetos definidos con el máximo rigor y claridad. Las formas de representación empleadas deberán producir en el lector una inmediata toma de conciencia acerca de las *diferencias de naturaleza* existentes entre los objetos representados. Para ello, el cartógrafo dispone de unas técnicas y de un cierto aparato lógico, que comprenden algunas recetas simples:

- representar los objetos de distinta naturaleza por signos o símbolos diferentes;
- representar los objetos de naturaleza semejante por signos distintos, pero relacionados, al menos, por una de sus variables; por ejemplo, el color o la forma;
- adoptar una jerarquía de signos que pueda a su vez relacionarse paralelamente con la jerarquía de las unidades definidas por los especialistas;
- presentar todos los signos en la leyenda, en un orden inspirado por su nivel taxonómico.

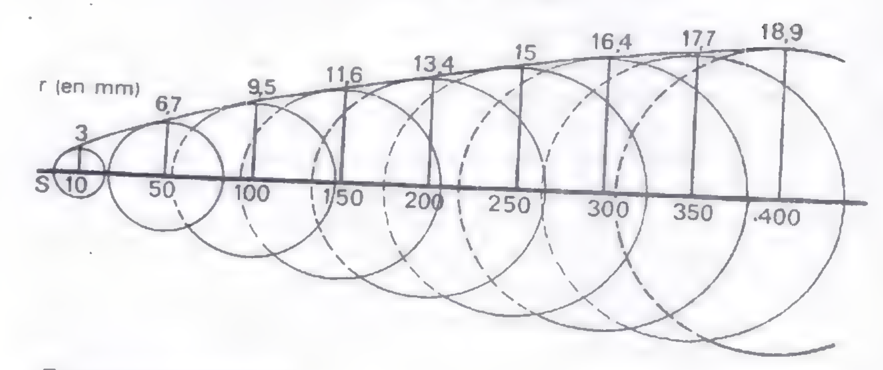
De este modo, el cartógrafo manejará mejor las variaciones de forma de los signos y su separación óptica (color, tonalidad, grano, orientación), y encontrará, en la combinación de las distintas variables retinianas, posibilidades prácticamente ilimitadas para una representación cualitativa.

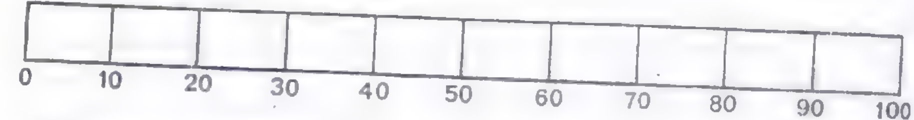
3. Problemas de clasificación y de comparación

Pero una representación puramente cualitativa de los hechos geográficos sería insuficiente, sobre todo en el momento actual, en que la geografía cuantitativa toma un nuevo impulso. La técnica cartográfica permite también expresar las dimensiones de los fenómenos. Y es precisamente la conjunción de los modos de representación cualitativo y cuantitativo la que, desde principios de siglo, ha dado todo su sentido a la cartografía temática consagrándola como un medio incomparable de investigación y de expresión.

La jerarquía de los hechos, y por tanto su clasificación y comparación, se establece bastante fácilmente dentro de una misma serie, o bajo una misma rúbrica; es decir, entre hechos de la misma naturaleza y que tengan una medida común. La clasificación no depende entonces de la técnica, sino de la calidad de las fuentes de información; según los casos, se utilizarán evaluaciones reales o simples apreciaciones a estima. La ordenación se puede efectuar a lo largo de una escala continua, que vendrá representada en la leyenda por un ábaco, o bien mediante una sucesión de escalones, definidos de un modo arbitrario (por ejemplo decimal), o mejor aún, por medio de una curva que exprese las frecuencias de ocurrencia de las diversas cantidades (fig. 31).

Pero esta jerarquía es mucho más difícil de establecer cuando se trata de comparar entre sí fenómenos de distinta naturaleza que, sin embargo, se insertan en un complejo de orden superior. Por ejemplo, los cultivos de cereal y de vid en un conjunto agrícola: ¿cómo comparar hectáreas de trigo y hectáreas de viñas, en un balance económico?; ¿o la agricultura, la cría de ganado, la industria y el comercio, en la actividad de un país?; ¿o la economía y los datos físicos, sin contar las herencias históricas y las reacciones psicológicas, en la ocupación de una región? A veces es posible adoptar una medida homogénea, adaptada al orden superior y común a todos los hechos analizados. Así por ejemplo, la producción de energía, procedente de fuentes tan distintas como el petróleo, la hulla o la electricidad hidráulica, puede evaluarse en calorías, o en watios/hora consumibles; industrias muy distintas pueden compararse por su número de obreros, o por sus cifras de negocios; las importaciones y las exportaciones, por su valor; los tráficos, en pesos por unidad de longitud; las actividades, por la parte que les corresponde en la renta bruta nacional; etc., etc. Pero cuando no existe una medida homogénea, se recurre a establecer una ponderación objetiva entre los hechos tratados,





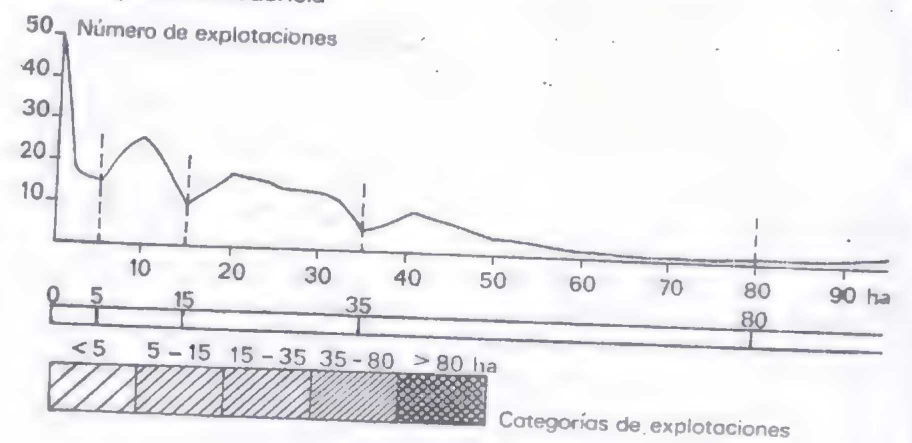


FIG. 31. — *Cantidades clasificadas*

de acuerdo con su incidencia sobre alguna consecuencia común. Se elaboran así índices (como por ejemplo el de aridez, que incluye las medidas de temperatura o evaporación, y de las precipitaciones), y son estos índices los que se cartografían. Pero este proceso de ideas, aun cuando esté justificado, es mucho más subjetivo que el método anterior, y exige una gran experiencia sobre el objeto tratado. Una vez más, la cuestión entra de lleno en la competencia de los especialistas.

En todos los casos, la dificultad principal consiste en la elección de los criterios más significativos. Por ejemplo: para cuantificar el relieve, ¿es mejor representar las altitudes, o los desniveles, o las pendientes?; ¿está una industria mejor caracterizada por su número de obreros, por su volumen de producción, o por su cifra de negocios?; ¿está un puerto mejor definido por el número o por el tonelaje de los navíos que alberga, por el volumen de las mercancías manipuladas, o por el valor mercantil de su tráfico? Todas estas preguntas deben ser contestadas de un modo científico y, por supuesto, atendiendo a los objetivos perseguidos por el autor. Pero se trata también de una cuestión práctica: ¿se puede o no disponer de una documentación adecuada, que permita utilizar el criterio más deseable? Y así vuelve a aparecer el problema de las fuentes: no se puede hacer siempre lo que se quiere.

Técnicamente, una vez elegidos los criterios y reunidos los documentos, son posibles dos vías:

— Dibujar el mapa con los elementos que permitirán al lector efectuar por sí mismo las medidas y comparaciones. Por ejemplo: curvas de nivel, mapas geomorfológicos, puntos de recuento... Se trata entonces de un método analítico.

— Cartografiar el resultado de las medidas, o de los cálculos de índices, como se hace en los mapas de aridez; o bien representar la extensión de los diferentes niveles adoptados, como se hace en los mapas hipsométricos, o en los de precipitaciones, de densidad, etc. Se trata entonces de un método sintético, o tipológico.

En cualquier caso lo esencial es utilizar con perfecto conocimiento todo el arsenal de las variables visuales, para provocar en el

lector una toma de conciencia acerca de las *diferencias de valor* existentes entre los objetos. Para ello, se hará uso de la variación de tamaño de los signos (longitud, espesor, superficie) o de la variación de intensidad óptica de los símbolos figurativos (color, valor, centelleo). Los signos y símbolos adoptados se ordenarán según series de valores crecientes, continuas o repartidas a ambos lados de un valor medio (fig. 32). También aquí deberá respetarse una cierta lógica:

- armonizar la jerarquía de los símbolos con la de los datos; cuanto más importante es un objeto, tanto más debe destacarse;
- combinar los símbolos de una manera razonada y clara, para hacer aparecer con evidencia la clasificación general.

Los mapas de cantidades absolutas tienen, en principio, el valor de una tabla estadística en la que los datos estuviesen visualmente distribuidos sobre las regiones del espacio que realmente ocupan. Inversamente, todo lector podría, partiendo del mapa, reunir las informaciones numéricas capaces de reconstituir la tabla estadística



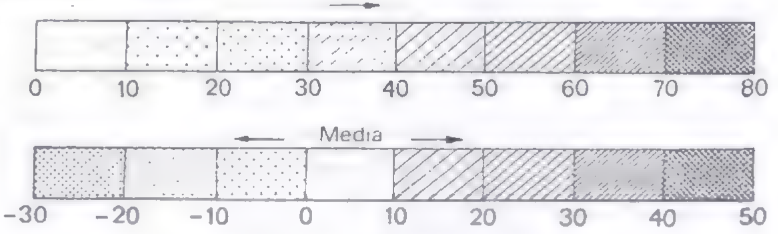


Fig. 32. — *Representaciones cuantitativas*

inicial. Es raro que este tratamiento pueda alcanzar un rigor matemático; no obstante, el margen de incertidumbre o error es generalmente lo bastante reducido como para que la representación conserve un valor práctico suficiente. Este margen puede aún disminuirse mediante un tratamiento automático, relativamente fácil, al que se presta bien este tipo de cartografía.

4. Relaciones y proporciones, y otros valores estadísticos relativos

Establecer una relación numérica es comparar una cantidad variable con otra fija, tomada como referencia, a la que generalmente se le asigna el valor 100 o 1.000. Se obtiene así una cierta proporción, llamada *tasa*, *índice* o *porcentaje*. Esta tasa viene expresada matemáticamente por una fracción, cuyos términos pueden ser cantidades absolutas, o bien funciones más o menos complejas. Es este resultado el que se pretende cartografiar.

Las relaciones numéricas pueden referirse a objetos materiales, a entidades o conceptos, a individuos enumerables o a superficies del terreno. Si N es el efectivo total de una enumeración, *n* el efectivo parcial, S la superficie total de un territorio, y *s* la superficie parcial, las relaciones más corrientes que se dan en cartografía son las siguientes:

— N/S o *n*/*s*. Es decir, la comparación de un efectivo con una superficie. Esta relación implica la noción de la repartición, del modo de instalación del efectivo sobre la superficie. Por ejemplo, la noción de densidad: *n* habitantes por km²; o la noción de rendimiento: *n* quintales por hectárea.

— S/N o *s*/*n*. Es decir, la comparación de una superficie con el efectivo que soporta. Esta es otra manera, menos frecuente, de expresar la misma relación anterior, pero insistiendo más sobre la disponibilidad del espacio considerado, su potencial de ocupación, y su peso con relación a los espacios vecinos. Se dice, por ejemplo, que tal país dispone de 5 km² para cada habitante. La representación de

este tipo de relación es, de hecho, más gráfica que cartográfica, y conduce, entre otras formas, a la anamorfosis, esos mapas deformados en los que la superficie de los países se representa de modo proporcional a las cantidades estudiadas (fig. 13).

— *s*/S o *n*/N. Es decir, la comparación de una parte con el todo. Esta relación implica la noción de partición de un conjunto, de la frecuencia de una sub-clase dentro de una clase.

Los mapas de relaciones numéricas son siempre difíciles de establecer, si se quiere que sean a la vez legibles y eficaces. La elección del modo de representación debe estar en todo caso cuidadosamente estudiada, en función de los datos del problema a tratar.

Cuando una magnitud del tipo S o *s* figura en el denominador, es posible representarla en su verdadero valor, a escala, ya que viene siempre determinada, sobre el fondo de referencia del mapa. Esta es precisamente una de las grandes ventajas de la cartografía sobre otras formas de representación gráfica. Basta entonces con delimitar los perímetros que interesan: límites administrativos, bosques, superficies cultivables o urbanizadas, etc., o incluso isolíneas correspondientes a una cierta magnitud (curvas de nivel, isotermas, isobaras, etcétera).

La representación de las cantidades que figuran en el numerador se efectúa de modo distinto, según los casos:

— Si la variable estudiada es continua en el espacio anteriormente delimitado. la representación debe ser asimismo continua. Se utilizará, por ejemplo, un color, un tono o un determinado motivo, extendidos sobre la o las superficies afectadas. Este es el principio que se emplea en los *mapas corocromáticos*, hipsométricos, geológicos, de precipitaciones, administrativos, etc. (fig. 33).

— Si la variable estudiada es discontinua (por ejemplo, una población homogénea de individuos que ocupan un cierto territorio) o si se localiza en un lugar puntual a la escala del mapa (por ejemplo, la sede de una empresa), la representación debe ser también puntual. Este es el principio que se emplea en los *mapas de distribución*. En el primer caso, se utilizarán cómodamente los puntos de recuento formando unidades, o múltiplos de la unidad, cuantitativas por sus di-

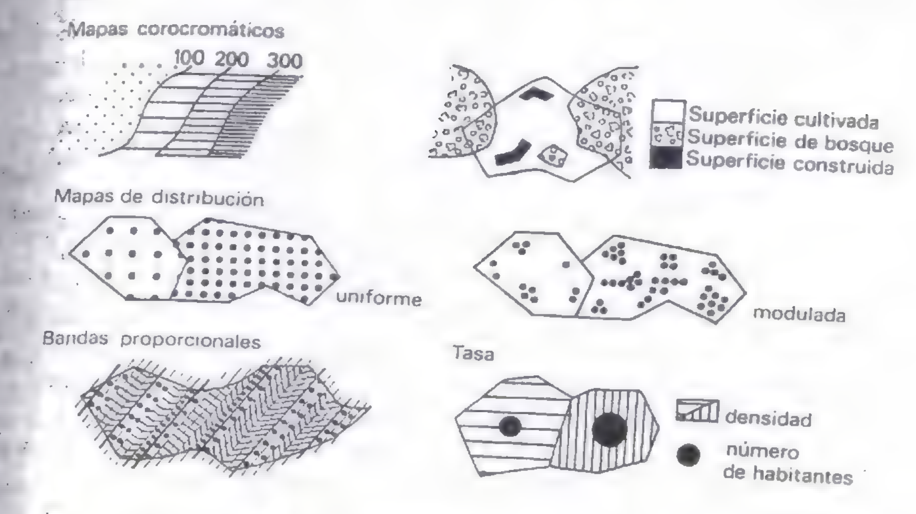


FIG. 33. — *Relaciones y proporciones*

mensiones y cualitativas por su forma o su color. Estos puntos podrán dispersarse uniformemente sobre la superficie de que se trate, con lo que se conseguirá un efecto de trama más o menos tupida, como en los mapas corocromáticos, pero geográficamente poco expresivo. Es preferible situarlos conforme a su repartición real, con lo que se logrará una expresión mucho más significativa de los rasgos geográficos. Con este sistema se obtiene una buena imagen, sugestiva y directa, de la repartición y densidad de la población estudiada (fig. 33). No obstante, el valor en cifras de estas relaciones sólo puede obtenerse por recuento de los puntos y planimetría de las superficies, o mediante la inserción al margen de un cuadro numérico anexo. A pesar de todo, el resultado que se obtiene es generalmente satisfactorio, y suficiente en la práctica normal. En el caso de implantaciones puntuales, se utiliza a menudo el sistema estadístico, que consiste en dibujar un *cartograma*, más bien que un mapa, centrando sobre cada una de las localidades estudiadas diagramas explicativos, del tipo que corresponda (fig. 13).

— Cuando se trata de expresar relaciones del tipo n/N o N/N' en sus correspondencias con superficies (por ejemplo, los distintos tipos de cultivo en una circunscripción dada), se utiliza a veces el sistema de *bandas proporcionales*. El territorio considerado se divide, mediante paralelas equidistantes, en bandas que representan cada una porcentajes del 5, 10 o 20 % de la cantidad estudiada. Por tanto, las agrupaciones de 20, 10 o 5 bandas, respectivamente, representan la cantidad total a subdividir. Estas bandas se colorean o se traman de acuerdo con las categorías a representar, y el motivo se repite sobre toda la superficie afectada (fig. 33). Con este sistema no es siempre fácil salvaguardar la estética, pero puede intentarse eligiendo adecuadamente la inclinación de las bandas y cuidando los reagrupamientos. Se utiliza también el método de "las dominantes", que consiste en cartografiar sólo las variables superiores a un cierto porcentaje, por ejemplo 2/3 o 1/2, que se consideran como características del conjunto.

— También se puede calcular la relación numérica n/N o N/S y cartografiar el resultado del cálculo; la imagen del fenómeno se convierte entonces en una trama o una tonalidad uniforme extendida. Estos *mapas de tasa*, o *de índices*, son más abstractos que los de distribución. En ellos se prescinde de los valores absolutos, por lo que es necesario un cuadro anexo, como en los casos precedentes. El mapa es estadístico más que geográfico, y en todo caso menos rico en matices y menos fácil de interpretar. En principio, debería también representarse el valor absoluto de referencia, por ejemplo bajo la forma de un círculo proporcional en sobrecarga sobre el símbolo extendido que representa la tasa (fig. 33).

5. Problemas dinámicos

El tiempo añade al espacio geográfico una cuarta dimensión, que la cartografía no puede despreciar. Por ello, hay que considerar los problemas que plantea la representación, sobre un plano inmóvil, de las componentes dinámicas correspondientes a movimientos que se producen en el espacio o a transformaciones que se suceden en el tiempo. La dificultad consiste en cómo sugerir un efecto dinámico sobre un documento que por sí mismo es estático, sin sacrificar ni su precisión ni su legibilidad. Para ello pueden adoptarse varios procedimientos, que dependerán de los temas a tratar.

A) *Problemas de evolución*

Cuando un fenómeno varía en el tiempo de un modo aleatorio, alrededor de una posición de equilibrio, se le puede representar satisfactoriamente por su valor medio, calculado en un período suficientemente largo, y complementado generalmente con una representación de sus extremos. Hay que hacer muchas reservas sobre la validez de este método: la imagen es puramente estadística, más abstracta que real, falsamente expresiva y, en definitiva, inexacta, puesto que la situación presentada no se ha producido jamás. Es cierto que se eliminan las variaciones "accidentales", pero hay que recordar que éstas tienen también su significación. Como mucho, puede admitirse que estos mapas tienen un cierto interés en el caso de fenómenos relativamente estables durante el intervalo de tiempo elegido, o de aquéllos cuyas variaciones extremas se eliminan entre sí, en períodos largos. Estos casos se presentan, según parece, en los mapas climáticos y en los de producción agrícola.

Pero cuando se trata de expresar una verdadera evolución, es decir, una serie de transformaciones en un mismo sentido, este procedimiento deja de ser válido. Es preferible entonces recurrir a mapas sinópticos que representen la situación real en un momento dado, lo más breve posible (hora, día, mes o año) y cuidadosamente elegido de acuerdo con la fugacidad del fenómeno. En efecto, estos mapas, rigurosamente fechados y montados en series, pueden compararse por yuxtaposición o superposición, ya sea sobre un soporte transparente, o por registro sobre película, como en un dibujo animado. Se consigue así algo equivalente a una representación gráfica del fenómeno en coordenadas cartesianas, pero con localización geográfica concreta y completa.

Sin embargo, los mapas de evolución propiamente dichos son los

que representan directamente la tasa de variación del fenómeno, en los dos sentidos, durante el intervalo de tiempo considerado. Esta tasa puede expresarse en porcentaje, lo que vuelve a plantear una relación del tipo N/N', aplicada a la superficie que caracteriza. Basta extender un color o una trama modulada sobre las zonas consideradas: por ejemplo rojo (o rayado) si la evolución es positiva, y azul (o punteado) si es negativa. En todo caso, deberá incluirse un símbolo proporcional, generalmente un círculo, que indique el valor absoluto de la cantidad inicial, o final, de la variable (fig. 34).

B) *Problemas de desplazamientos o de flujo*

Nos referiremos principalmente a movimientos en el espacio. La expresión directa, que es la más normal, consiste en representar el sentido y la importancia del movimiento mediante vectores trazados sobre el itinerario que recorre. A estos vectores se les da forma de flechas, o de bandas, cualificadas por símbolos figurativos o colores, y cuantificadas por sus dimensiones proporcionales. Cuando el itinerario no está rigurosamente definido, se utilizan flechas cortas, orientadas en el sentido general del desplazamiento y localizadas en el punto de partida o de llegada. La imagen recuerda entonces a la que forman las limaduras de hierro alrededor de los polos de un imán. Pero los lugares de destino, o de origen, son a menudo difíciles de precisar (fig. 34).

Se emplea también, pero más raramente, la representación indirecta, que viene dada por mapas comparativos de los objetos desplazados, ya sea en valor absoluto o en porcentaje, localizados en el punto de llegada y calificados según su lugar de origen. Por ejemplo, el mapa de las universidades de París, con sectores proporcionales, según las distintas regiones de origen de los estudiantes. Estos mismos principios pueden aplicarse a los lugares de partida (fig. 34). Por ejemplo, un mapa de Argelia con expresión de los lugares de origen de los trabajadores inmigrados, evaluando su número o porcentaje. También se construyen mapas relativos a los movimientos pendulares o al nomadismo, que muestran las ganancias y pérdidas simultáneas en los dos extremos del desplazamiento.

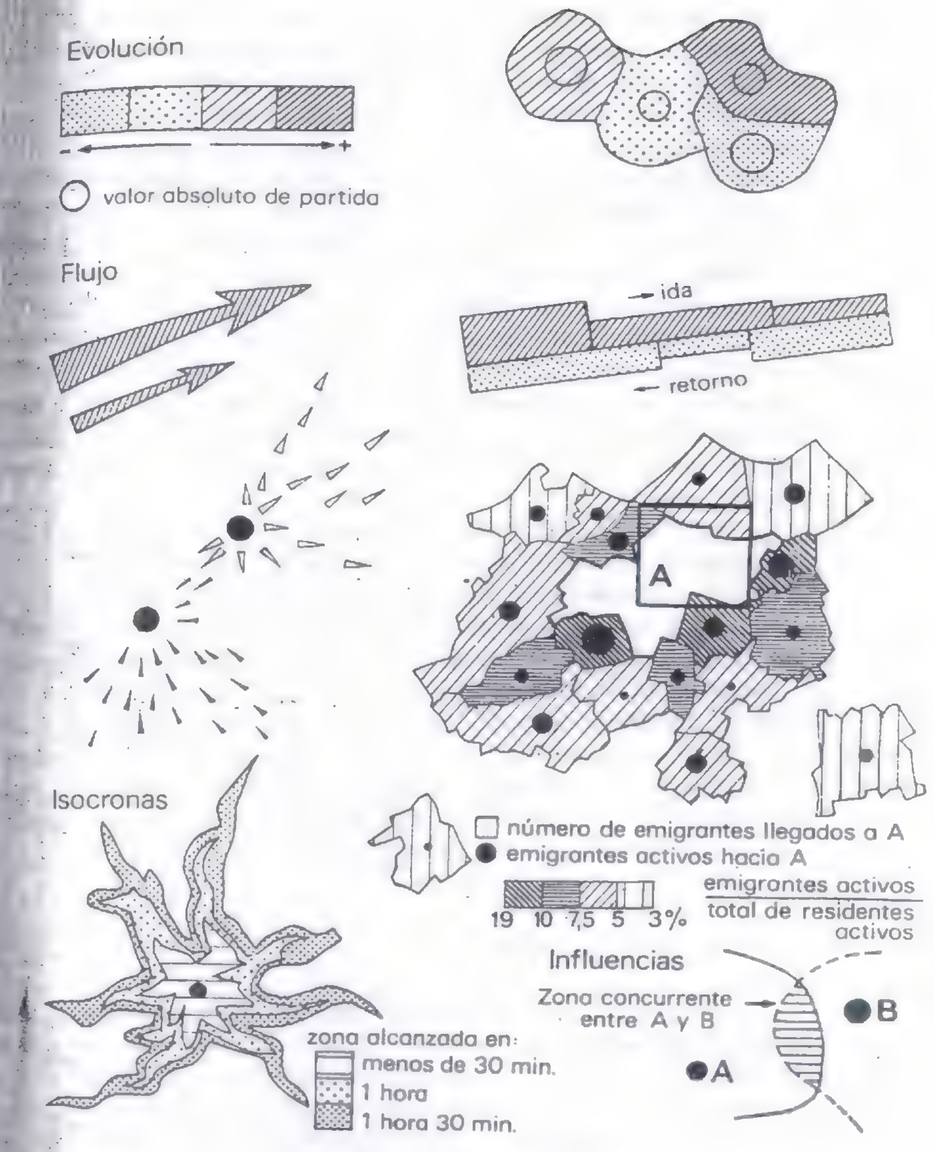


FIG. 34. — *Problemas dinámicos*

Cartografiar estos problemas de flujo es siempre difícil, pero es tarea que no puede rehusarse, toda vez que se ocupa de una categoría de hechos geográficos cada vez más importante en el mundo contemporáneo.

C) *Problemas de acceso y de influencias*

Los problemas de facilidad de acceso (a una ciudad, por ejemplo), los de comunicación entre ciudades vecinas, o los que se refieren a la influencia territorial de un centro, en competencia o no con un polo vecino, pueden considerarse semejantes en cuanto a su representación cartográfica.

En efecto, tanto las facilidades de acceso como las de comunicación se expresan en función del tiempo. Con este fin se elaboran mapas de isolíneas, (en este caso isocronas) que delimitan aquellas zonas que son accesibles en un cierto tiempo, definido por las curvas envolventes (fig. 34).

La influencia de un centro puede medirse en función del área en que se extienden algunas funciones vitales, tales como líneas de transporte común, distribución de mercancías, enlaces telefónicos, circuitos comerciales o bancarios, lugares de origen de los obreros o de los estudiantes, difusión de la prensa, etc. Los límites de estas áreas se cortarán entre sí y con los límites similares de las ciudades vecinas, permitiendo definir las zonas de influencia, exclusivas o concurrentes, de los centros considerados (fig. 34).

IV. EL PROBLEMA DE LAS CORRELACIONES

1. CARACTERES GENERALES

Los *mapas de correlación* intentan expresar las relaciones lógicas que existen entre dos o más fenómenos u objetos del espacio geográfico; fenómenos u objetos que pueden ser de órdenes diferentes, pero cuyo nexo de enlace consiste en ser determinantes unos con relación a otros, o contribuir conjuntamente a la determinación de otros fenómenos o combinaciones.

Estas correlaciones no siempre son evidentes y, por otra parte, al establecerlas, hay que desconfiar de algunas conclusiones demasiado simplistas. A. Siegfried señaló hace ya tiempo [21] que si, en la región de Ardèche, las opiniones políticas de derecha predominan en las altas regiones de formación cristalina, y las de izquierda en las bajas regiones calcáreas, esto no es más que la consecuencia de una larga cadena de correlaciones intermedias. La búsqueda de correlaciones entre los hechos geográficos constituye la esencia misma del trabajo del geógrafo, e implica una labor de selección permanente en un ingente volumen de datos, de los que sólo algunos son significativos. Es preciso recurrir a eliminaciones y aproximaciones sucesivas, desechando falsas causalidades y coincidencias fortuitas, para no retener más que las relaciones auténticas. Y no se deben olvidar, en este difícil proceso, las relaciones parciales, más o menos sutiles, que se insertan entre el resultado final y sus causas determinantes.

Ahora bien, la importancia y eficacia de estos determinantes no son siempre idénticas. Algunas correlaciones son muy directas, como la que hace depender, por ejemplo, los efectos de la helada de las variaciones de temperatura. Otras están más matizadas, como la relación que existe entre la abundancia de lluvias y los desbordamientos. Y las hay más complejas, como las que enlazan las formas del terreno, con los datos estructurales y los procesos morfoclimáticos actuales y antiguos; o la ocupación del suelo con los datos naturales, históricos, jurídicos, demográficos, económicos, etc. Generalmente, no existe un determinismo absoluto, sino una causalidad variable, que depende de los momentos y los lugares, y de las circunstancias técnicas, sociales o políticas. Además, la jerarquía de los vínculos de causalidad puede ser diferente según la escala considerada. Cuanto más vasta es una región o menor es la escala, más prepondera el juego de los factores generales sobre el de las variables locales. En un mapa de Europa a 1:2.000.000, los datos estructurales y las grandes influencias morfoclimáticas tienen prioridad sobre los procesos del modelado, en la interpretación de las formas del relieve. A escala de Francia, el bosque normando o bretón, fenómeno carac-

terístico de estructura agraria y de civilización rural, es también un hecho climático, edafológico, histórico y económico.

La investigación de las correlaciones se basa pues, a la escala del estudio, en una confrontación permanente de aquellos datos que se suponen ligados por una relación de causa-efecto, que derivan de un factor común, o que producen una consecuencia común. La comparación descriptiva debe conducir poco a poco, sobre todo por la evaluación cuantitativa y la repetitividad de los encadenamientos, a una conclusión explicativa cuyos términos serán lo único que se conserve en el documento definitivo. La *geografía cuantitativa* moderna utiliza cada vez más el análisis factorial, el cálculo matricial y los coeficientes de correlación en estas investigaciones. Pero la cartografía convencional permitía ya, desde hace mucho tiempo, este proceso, sin otro recurso que la referencia visual inmediata al espacio geográfico que la caracteriza. En todo caso, es preciso no perder jamás el contacto con la realidad del terreno, y controlar permanentemente el progreso de la investigación, mediante la experiencia directa y profunda del medio estudiado.

En este punto, el trabajo del cartógrafo se encuentra, una vez más, estrechamente asociado al del investigador. El método cartográfico de investigación de correlaciones puede aplicarse a varios niveles:

- al nivel de la información, mediante la elaboración de mapas analíticos, conforme a los métodos expuestos en los párrafos precedentes;
- al nivel de la comparación, mediante yuxtaposición o superposición de los mapas relativos a aquellos fenómenos entre los cuales se quieren investigar sus posibles relaciones;
- al nivel de la comunicación de resultados, mediante la elaboración de un mapa sintético complejo que muestre las conclusiones a las que se ha creído llegar.

Normalmente, los mapas de investigación, o de aproximación, son sólo herramientas de trabajo, y no se destinan a la publicación; en general, suelen permanecer manuscritos. Por tanto, el investigador puede permitirse sobre ellos todas las libertades técnicas, compli-

caciones, falsas experiencias y correcciones que juzgue necesarias. En cambio, los mapas de síntesis deben ser claros y depurados, no conservando más que las variables fundamentales con sus valores característicos; deben asimismo ser legibles, y ello sin ocultar la complejidad geográfica. Su eficacia proviene de unas elecciones científicas inteligentes, y de la aplicación de unas técnicas rigurosas. Los mejores mapas de síntesis son analíticos en cuanto a su construcción, en el sentido en que ofrecen al lector todos los datos del problema, y sintéticos en cuanto a su expresión, puesto que presentan una imagen global de las diversas combinaciones resultantes. Además, pueden completarse con pequeños mapas anexos (cartones), de dimensión inferior y a distinta escala: mayor, si se trata de detalles o ejemplos complejos; menor, si se trata simplemente de localizaciones en un dominio más amplio. Otra opción técnica consiste en tratar algunos aspectos particulares del problema, sobre todo los intermedios, en mapas adjuntos dibujados sobre soportes transparentes, y superponibles. En todo caso, la leyenda debe ser cuidadosamente estudiada; su presentación puede ayudar a subrayar las correlaciones y a facilitar la lectura del mapa; para ello, debe estar clasificada en rúbricas, según un orden jerárquico, y no olvidar ninguno de los símbolos utilizados, ni ninguno de los criterios cuantitativos adoptados.

Existen muy diversos tipos de mapas de correlación, pero sólo citaremos cuatro ejemplos, destinados a mostrar la riqueza geográfica de su concepción, y la dificultad de su construcción.

2. Ejemplos de mapas de correlaciones

A) *Mapas geomorfológicos*

La geomorfología es el estudio científico de las formas del relieve, su génesis, su evolución en el tiempo y sus relaciones en el espacio. La cartografía geomorfológica es la expresión gráfica de las correlaciones geomorfológicas observadas en un espacio definido; es al mismo tiempo una representación cualitativa (descriptiva), cuantitativa (dimensional) y explicativa (expresiva) de las formas del terreno [22] (ver lámina 2), que se sitúa a la vez:

— en el plano de un inventario de las formas, basado en el estudio minucioso del terreno y de las fotografías aéreas;
— en el plano de la investigación, donde constituye un instrumento de confrontación y comparación de los datos;
— en el plano de la percepción global de relaciones existentes entre las formas, por una parte, y el espacio, el tiempo, y las fuerzas que las han engendrado o que las modifican, por otra.

La concepción de los mapas geomorfológicos ha seguido la misma evolución que la propia geomorfología. En un principio fueron puramente descriptivos, geométricos; esto condujo a los mapas topográficos, primero con normales y luego con curvas de nivel. Posteriormente, estos mapas se hicieron más correlativos, pero siempre orientados hacia las preocupaciones del momento: morfoestructurales, morfocronológicos, morfoclimáticos o morfodinámicos. Actualmente, son cada vez más exhaustivos y detallados.

Esencialmente, un mapa geomorfológico debe enlazar entre sí los temas siguientes:

— descripción de las formas, o *morfografía*, sus características y su distribución;
— origen de las formas, o *morfogénesis*, que depende de los datos estructurales (litología y tectónica) y de los procesos geodinámicos activos, que revelan especialmente las formaciones superficiales, y los depósitos por ellos originados;
— evolución de las formas, o *morfocronología*; es decir, la sucesión en el tiempo de los diversos procesos dinámicos y de las familias geomorfológicas que estos procesos hayan podido constituir;
— dimensión de las formas, o *morfometría*; es decir, su extensión en superficie y en volumen, y su importancia relativa.

Naturalmente, la complejidad de las representaciones varía con la escala, ya que las unidades taxonómicas que entran en juego no son siempre las mismas. Desde este punto de vista, se pueden distinguir:

— los *mapas sinópticos*, a escala igual o inferior a 1:1.000.000, que representan grandes conjuntos morfoestructurales o morfodinámicos, de primera o segunda magnitud; se sitúan en ellos los volúmenes generales, pero no los detalles morfográficos, excepto algunas formas mayores, compatibles con la escala; sólo excepcionalmente se tratan datos morfocronológicos;

— los *mapas regionales*, a escala comprendida entre 1:100.000 y 1:500.000, que individualizan las unidades geomorfológicas de tercera o cuarta magnitud que caracterizan a una región o a un grupo de regiones; pueden representarse en ellos algunos detalles importantes, morfográficos y morfocronológicos, de quinta o sexta magnitud;
— los *mapas de detalle*, a escala superior o igual a 1:50.000, que suelen ser muy analíticos; tratan esencialmente unidades geomorfológicas, bajo todos sus aspectos; las unidades de orden superior sólo se representan para ensamblar coherentemente las anteriores. Pueden precisarse en ellos todo tipo de indicaciones, morfométricas o morfocronológicas.

La gran dificultad estriba en la adopción de prioridades entre los diversos hechos geomorfológicos, en función de la escala y del fin asignado al mapa. El punto de vista morfoestructural domina principalmente en los mapas a pequeña escala, pero también se impone cuando se trata de regiones donde la litología y la tectónica constituyen los fundamentos del paisaje. El punto de vista morfocronológico ha sido considerado durante mucho tiempo como esencial, al igual que en los mapas geológicos y en los estratigráficos del cuaternario. Pero los criterios morfogenético y morfodinámico se han ido imponiendo progresivamente como los más característicos de las investigaciones geomorfológicas. En realidad, ninguna de estas perspectivas puede olvidarse completamente, y el problema principal cartográfico consiste en encontrar una leyenda que las reúna a todas, con matices que se adapten a los datos del terreno, y que sea transportable de una escala a otra, mediante generalizaciones sucesivas. Evidentemente, pueden concebirse además leyendas particulares adaptadas a casos aislados, o a objetivos bien determinados.

En esta línea ha sido concebida la leyenda adoptada para el *Mapa geomorfológico detallado de Francia a 1:50.000*;[23] se trata de un mapa levantado directamente sobre el terreno, a partir de una prospección a 1:25.000, completada luego con todas las informaciones bibliográficas o iconográficas, y con investigaciones de laboratorio. Por ser un mapa de detalle, presenta dos niveles de lectura:

— uno elemental, o analítico, en el cual puede hacerse el inventario de todos los signos o símbolos particulares y, por tanto, de todas las componentes del paisaje;
— otro general, o sintético, en el que puede realizarse una observación global de toda la información, y permite memorizar las correlaciones esenciales, tanto locales como regionales.

En cuanto a los principios generales sobre elección de las formas de representación, pueden resumirse como sigue:

— El *color*, por ser la variable visual más fuerte, se asigna a la morfogénesis, que se considera como el principal objeto de interés geomorfológico. Las zonas coloreadas que se perciben al nivel general de lectura representan, por tanto, grandes extensiones homogéneas, desde el punto de vista morfogenético:

- contexto estructural: en marrones y rojos; los accidentes tectónicos en gris oscuro;
- contexto dinámico: azul para las acciones marinas o lacustres, verde para las fluviales, violeta para las glaciares, amarillo para las eólicas y negro para las humanas;
- dominios morfoclimáticos: rojo-violeta para el periglacial, verde oliva para el templado, verde azulado para el tropical, ocre para el desértico.

— La variación de *valor* (o intensidad) del color caracteriza la *cronología*, es decir, la sucesión de las formas en el tiempo. Se distinguen esencialmente dos valores en razón del interés práctico que se les asigna: lo que es pasivo, en tono pálido, y lo que es activo, en tono oscuro. Si es necesario, pueden indicarse subdivisiones más detalladas, mediante índices representados por letras.

— Para tratar de la *morfología*, o descripción de las formas (de erosión o de acumulación) y de las formaciones (de subsuelo y superficiales), se emplean *signos* puntuales, lineales o superficiales, coloreados según las normas ya indicadas.

— Los elementos principales de la *morfometría* vienen dados por cotas de altitud, curvas de nivel y modulaciones de las dimensiones de los signos. El espesor de las formaciones superficiales se sugiere mediante su propio símbolo figurativo, sólo o en combinación con el del subsuelo.

Este ejemplo es uno más entre tantos otros principios parecidos o, por el contrario, muy diferentes, se emplean en otros países. Por ejemplo, los mapas geomorfológicos de los países del Este son, por lo general, muy analíticos; los de los países anglosajones son más sintéticos, e incluso a menudo tipológicos. De todos modos, los mapas geomorfológicos son siempre modelos de mapas de correlación del medio natural. Las condiciones de su levantamiento y el conjunto de informaciones que contienen, hacen de ellos una fuente inagotable de reflexión teórica y de información geotécnica, indispensable para el buen conocimiento del medio natural.[24]

B) *Mapas de ocupación y de utilización del suelo*

En geografía humana, la cartografía de las correlaciones se hace difícil, por la gran complejidad de las interacciones y por las mismas condiciones de la investigación en este campo. Los factores determinantes son no sólo numerosos, sino a menudo también muy sutiles e incómodos de medir. Además, son eminentemente variables, según los lugares y los tiempos, cambiando a veces en el curso de un período más corto que el de la vida humana, o incluso inferior al necesario para elaborar el mapa. Por ello, es imprescindible una constante puesta al día. Por otra parte, el vocabulario, la taxonomía y la clasificación de los hechos de geografía humana son todavía más dudosos e inseguros que los de la geografía física. Como consecuencia, se han propuesto una gran cantidad de leyendas.

Sin embargo, hay un carácter que conserva la suficiente estabilidad, y que marca con bastante fuerza la fisonomía de los paisajes como para poder traducirla objetivamente en un mapa: se trata del modo en que el hombre ocupa y utiliza el espacio, en un momento dado, lo que constituye el tema de los mapas llamados de ocupación, o de utilización, del suelo (véase lámina 4).[25]

Estos dos términos no son exactamente sinónimos. Por ocupación del suelo se entiende la manera en que el territorio está cubierto y organizado, el modo en que el hombre ha tomado posesión del espacio geográfico y le ha dado forma, con el fin de vivir en él; la palabra "ocupación" implica aquí una noción de repartición y de organización. Por utilización del suelo se entiende, en cambio, la manera en que el territorio está empleado y explotado, el modo en que el hombre ha sabido sacar partido del espacio geográfico, y marcarlo con su actividad; la palabra "utilización" implica aquí una noción de uso (*land use*) y de economía. El primer concepto supone una distribución: de los habitantes, del hábitat, de las instalaciones rurales y urbanas; las correlaciones son ante todo físicas y sociales. El segundo concepto supone un cierto destino asignado: al espacio agrícola, al forestal, al urbano, a las infraestructuras y a los espacios no productivos; las correlaciones son esencialmente sociales y económicas. Ambos conceptos suelen confundirse entre sí, bajo uno u otro título. Pero, por otra parte, es cierto que son difícilmente separables, y que existe necesariamente una gran correlación entre la ocupación del suelo y su utilización.

Los mapas de ocupación y de utilización del suelo son principalmente fisionómicos, puesto que describen el paisaje en sus relaciones con su en-

torno físico y humano. Pero puede dárseles también una coloración cuantitativa, cuando la documentación y el nivel de encuesta así lo permitan. Desde el punto de vista técnico, son necesariamente mapas complejos, ya que, como los geomorfológicos, deben combinar de un modo u otro varios tipos de hechos:

— Hechos de encuadramiento, constituidos por los datos permanentes del medio físico, que, a menudo, son los más olvidados en este género de mapas. Como mínimo, estos datos deben constituir los elementos del fondo de referencia: la topografía, o la clinografía; la hidrografía, incluyendo los recursos en agua, naturales o artificiales; el clima, sugerido por ejemplo mediante la cobertura vegetal, o por las curvas isotérmicas; las formaciones superficiales o suelos; etc., etc.

— Hechos de ocupación propiamente dicha: repartición de los hombres, bien por su distribución real o por la densidad de población; migraciones pendulares; nomadismo; tipos de propiedades o de explotaciones; etc., etc.

— Hechos de ordenación del territorio: hábitat rural y urbano; morfología agraria, campos cerrados o abiertos; bosques, cultivos y espacios no agrícolas; morfología urbana; vías de comunicación; instalaciones mineras, industriales o comerciales; etc., etc.

Como también ocurre en los mapas geomorfológicos, el contenido y presentación de los mapas de ocupación o de utilización del suelo pueden variar con la escala:

— A *pequeña escala*, no se puede pretender más que una visión muy general, para uso de la FAO o de otros organismos internacionales, o para fines didácticos. Sin embargo, las escalas próximas a 1:1.000.000 se adaptan bien al conjunto de una nación y, mediante algunas precauciones técnicas, permiten representar lo más esencial de la información. Se exponen a continuación dos ejemplos, que ilustran dos maneras bastante diferentes de tratar el problema:

1) El *Mapa de la utilización agrícola del suelo en Francia a escala 1:1.400.000*, establecido por A. Perpillou,[26] mediante una generalización de mapas departamentales a escala 1:400.000. La fuente fundamental está constituida por documentos catastrales, de los que el autor ha obtenido una repartición proporcional, por cada municipio, de los diferentes tipos de cultivo. Se ha calculado un terreno tipo de referencia que, en los casos en que realmente existe, se representa por una tinta plana amarilla. Se adoptan siete tipos de cultivo, a los que se asignan colores característicos: a las tierras de labor, el rojo; a los prados y pastos, el verde; a las viñas, el violeta; a los bosques y montes, el negro; a los huertos, el azul; a los jardines, el marrón; a los páramos y tierras no cultivadas, el blanco. Para cada uno de ellos se ha calculado una separación media, con relación al terreno tipo. Las separaciones superiores a la media se reparten en tres clases, representadas del siguiente modo: la más alta por colores planos, y la media y la más baja, por tramas. Si hay superposición de tipos dominantes de cultivo, se utiliza un sistema de bandas binarias. Se consigue así la representación de dos tipos dominantes de cultivo, como máximo, por municipio. Se trata por tanto de un mapa analítico y estadístico, destinado simplemente a comparar el estado de los factores dominantes del paisaje rural en dos épocas de su evolución; principios de los siglos XIX y XX. No se plantean las correlaciones con el medio natural, ni con el entorno humano, aunque ambas están implícitas para quien conoce bien el país, o consulta otro mapa que contenga estos datos.

2) El *Mapa a 1:100.000 de utilización del suelo en Marruecos*, establecido por F. Joly,[27] se considera como experimental, pero con un propósito real de investigar las correlaciones. La documentación procede fundamentalmente de fuentes bibliográficas y estadísticas, del examen de fotografías aéreas y de la experiencia personal del autor. El mapa intenta obtener a la vez un análisis tan detallado como sea posible y una visión sintética general, capaz de sugerir el trazado de límites regionales. Fue establecida por el método de mapas superpuestos. El principio consiste en asignar un color determinado a cada una de las categorías representadas. En el dominio de cada color, los fenómenos se diferencian por símbolos, manchas o estarcidos, cuyo significado puede ser también de tipo cuantitativo. Las aguas y las costas se representan en azul; la hipsometría por un tramado en color pardo; los pastos naturales (concebidos como expresión de las zonas bioclimáticas), en verde claro; los bosques, en verde oscuro; los cultivos, en marrón; los cultivos permanentes, en violeta; las instalaciones humanas, en rojo. La tirada de estas planchas, color por color, constituye una especie de atlas analítico, fácil de poner al día, que puede completarse eventualmente con otras planchas, sobre soporte transparente, que representen la distribución de la población, del ganado, de la propiedad, etc. La tirada de estas planchas en superposición constituye una confrontación gráfica que hace aparecer suficientes similitudes y contrastes como para trazar límites regionales correctos.

— A *media escala*, el análisis puede detallarse más, incluso cuando la unidad básica sigue siendo fundamentalmente el municipio, o la mínima unidad estadística. Al mismo tiempo las correlaciones pueden ponerse de manifiesto con la ayuda de la topografía (curvas de nivel), de los grandes temas geomorfológicos (formaciones superficiales, dinámica de las vertientes) o bioclimáticos (escalones y dominios de vegetación), y de algunos temas socio-económicos (morfología agraria, mercados, etc.). Recientemente, se ha encargado a una comisión especial de la Unión Geográfica Internacional la preparación de un mapa mundial de utilización del suelo,[28] a partir de mapas a media escala. Con estas mismas normas se ha establecido, por ejemplo, el mapa italiano de utilización del suelo a 1:200.000.[29] Otros ensayos, con otros métodos, se han efectuado más tarde en otros países; citaremos, por ejemplo, la hoja de Langon a 1:100.000, establecida por el Instituto Geográfico Nacional de Francia, por foto-interpretación controlada;[30] en ella, se representa el área de extensión de cinco tipos de cultivos, y otros cinco de superficies no cultivadas, mediante símbolos figurativos coloreados, que pueden combinarse, por yuxtaposición o por sobrecargas binarias, para identificar los caracteres dominantes. Las correlaciones se efectúan sobre el propio mapa (fondo topográfico muy completo) y por medio de cartones (geología, límites administrativos, regiones agrícolas, etc.).

— La mayor parte de los mapas a *gran escala* han permanecido manuscritos, o constituyen ejemplos aislados. Por esto mismo, deben citarse los documentos, muy elaborados, que se han publicado en Polonia (a 1:50.000), en Hungría y en Inglaterra (a 1:25.000). Por lo que a Francia se refiere, pueden citarse los meritorios ensayos de P. Brunet en Caen (hoja de Mézidon, a 1:50.000) y los de P. Flatres en Lille (a 1:50.000 y a 1:10.000).[31] El inconveniente de estos mapas es que, exceptuando quizás el último, no cambian prácticamente sus métodos de trabajo cuando aumenta la escala. Ahora bien, las grandes escalas permiten, sobre todo a 1:10.000 y a 1:50.000, el paso del municipio a la explotación, y del tipo de cultivo a la planta cultivada, lo que cambia mucho las perspectivas del análisis, y las prioridades en las correlaciones; a tales escalas, las correlaciones se establecen con los datos microclimáticos y edafológicos, con las condiciones técnicas y sociales, con las condiciones jurídicas, etc. Como contrapartida, la gran variabilidad cualitativa y cuantitativa de los fenómenos, y la dificultad de acceder a la documentación de otro modo que por el de encuesta, constituyen serias dificultades cartográficas.

C) *Mapas integrados de "paisajes" o de "medios"*

Desde hace algunos años, los biogeógrafos vienen prestando mucha atención a una llamada "geografía global", que debería "integrar", dentro de una "conceptualización" específica, el conjunto de características de los "paisajes" o de los "medios" observados en la superficie de la Tierra.[32] A través de este rebuscado vocabulario, unas veces anticuado, otras pedante, otras impreciso, vuelve a encontrarse de hecho la muy vieja idea, ya expresada por Vidal de la Blache, de que un "paisaje" no es una suma de elementos aislados, sino un complejo organizado, una asociación de elementos, llamados "unidades de paisaje", que conviene primero reconocer y después analizar. Por lo tanto, no sería posible aislar un "paisaje vegetal", o un "paisaje morfológico", o un "paisaje humano", etc. Pero el "medio" debe considerarse como un todo, subdividible en células diferenciadas e interdependientes, en el interior de las cuales se producen cambios de energía entre los seres que en ellas habitan y la materia que las compone. Si esto se acepta, estaremos en los límites de la geografía con la ecología.

Desde el punto de vista cartográfico, el interés que presentan estos conceptos estriba en considerar el paisaje como un conjunto coherente, como un sistema cerrado que corresponde a una combinación de relaciones dialécticas, es decir, de correlaciones. Este sistema se subdivide él mismo en subconjuntos. Y es posible por tanto definir unidades taxonómicas, las *unidades de paisaje*, que constituyen otras tantas unidades cartográficas, jerarquizadas según la escala, y caracterizadas por una cierta dinámica que puede explicitarse aplicando el análisis factorial o gráfico. Se trata en suma, de un método tipológico y fisionómico para resolver el problema: se desmonta el puzzle, en lugar de construirlo.

Los botánicos y los fitogeógrafos, considerando la vegetación como un verdadero "reactivo" del medio, han dado los primeros pasos en esta dirección. H. Gaussen, en particular, ha definido unidades cartográficas (estadios, series, niveles) que son a la vez dinámicas y fisionómicas, y ha desarrollado un método de empleo de los colores y de los signos para representarlas.[33] Estas investigaciones son fundamentales en la realización del *Mapa de la vegetación de Francia a 1:200.000*, próximo a terminarse, que representa la ocupación vegetal del suelo, incluidas las intervenciones humanas.[34] Paralelamente, los fitosociólogos,[35] partiendo de bases muy diferentes, y apoyándose en un tratamiento estadístico cada vez más elaborado, han puesto a punto una cartografía a media y gran escala de las unidades de

flora homogéneas, constituidas por asociaciones y agrupamientos vegetales. En cambio, los biogeógrafos han abordado resueltamente este problema bajo el ángulo fisionómico, intentando cartografiar las componentes del paisaje por medio de sus articulaciones jerárquicas.

El método preconizado por G. Rougerie [36] es muy analítico y estructural. En sus ensayos, casi todos manuscritos, la distribución de las masas vegetales en el espacio viene representada por bandas, círculos, normales y tintas planas, según se trate de los diferentes estratos: arborescente, arbustivo, subarbustivo, monte bajo o herbáceo. El espaciamiento y la disposición de estos signos sugieren la intensidad de recubrimiento del suelo. Los colores distinguen el carácter caduco o perenne del follaje, la persistencia o la periodicidad de la ocupación. Unas iniciales designan las especies dominantes. Con estos elementos se construye una imagen visual de los grandes conjuntos de paisajes (roca desnuda, césped bajo, landa, bosque, etc.), que constituyen otras tantas diferenciaciones ecológicas (unidades y sub-unidades de paisaje). Sobre el mismo fondo, o en mapas separados, es fácil establecer las correlaciones de estas unidades con la topografía (orientación y pendientes), los microclimas, la dinámica de superficie, el espesor y naturaleza de las formaciones superficiales, los suelos, etc.

A un nivel de integración más elevado, es el paisaje entero el que debe ser considerado como objeto de investigación. Las componentes físicas, y en particular la vegetación, no pueden separarse de las componentes humanas, con las que forman un sistema energético de ecoproductividad más o menos mensurable. Las unidades cartográficas representan entonces *unidades bioecológicas*, bien definidas en la escala tiempo-espacial y clasificadas por su orden jerárquico. Una de las clasificaciones más elaboradas es la de G. Bertrand,[37] que distingue, por debajo de la zona, el dominio y la región, de empleo ya corriente, otras unidades de menores dimensiones (cuadro I): el geosistema (quinta magnitud), la geofacies (sexta magnitud), el geotopo (séptima magnitud) y el biotipo (octava a novena magnitud). La cartografía se efectúa a partir de la observación directa del terreno y de fotografías aéreas. A media escala (1:100.000 o 1:200.000), los geosistemas se representan de un modo sintético, tipológico, mediante una combinación de colores y tramas de significación dinámica; ejemplos: azul para los geosistemas climáticos, verde para los geosistemas paraclimáticos, amarillo para los geosistemas regresivos por degradación humana, rojo para los geosistemas ligados a la evolución geodinámica, etc. A gran escala (1:50.000 o más), estos mismos principios se aplican a las geofacies y a los geotopos.

Esta cartografía "global" o "integrada" no sustituye a la cartografía analítica especializada: más bien la completa, abordando el problema desde un ángulo diferente.

D) *Cartografía y regionalización*

Durante mucho tiempo, (por lo menos en Francia, a partir de la escuela de Vidal de La Blache), el principal objetivo de la geografía ha sido la investigación y determinación de regiones geográficas. Es asombroso que, siendo esto así, no se haya desarrollado una verdadera doctrina sobre cartografía regional. Pero lo cierto es que existen todavía muchas clases de "regiones" y, como consecuencia, muchos tipos de "mapas regionales".

La descripción y el tratamiento cartográficos de los problemas de geografía regional se enfrentan con todas las dificultades características de la cartografía de correlación, además de con los problemas metodológicos propios, derivados de las definiciones y las finalidades de este tipo de geografía. En su concepción más clásica, la geografía regional es la ciencia de las combinaciones, generalmente locales y momentáneas, entre los elementos de distinta naturaleza que caracterizan a un cierto espacio geográfico. Es preciso, por tanto, elegir cuidadosamente los criterios de regionalización, puesto que de su confrontación gráfica dependerán tanto el valor visual como la eficacia del mapa. Ahora bien, estos criterios dependen, por una parte, de la influencia preeminente del medio natural (clima, relieve, vegetación) y, por otra, de las influencias históricas, sociales (demografía, datos socioprofesionales), económicas, etc. Varían también con la documentación disponible, así como con la escala y el grado de generalización que ésta requiera. Finalmente, dependen del fin que se persiga en la elaboración del mapa, según sea científico, didáctico o de orden práctico. La elección es, también aquí, de la competencia del investigador, más que del técnico.

Redactar un mapa regional es "situar ante los ojos del lector el conjunto de rasgos que caracterizan una comarca, a fin de establecer una relación entre ellos"; [38] es también mostrar las correlaciones que existen en el interior de una combinación regional, subrayando su originalidad con respecto a las combinaciones vecinas. Nos hallamos de nuevo ante la necesidad de un proceso analítico. Es por esto que algunos mapas de ocupación del suelo, como el de Marruecos a escala 1:1.000.000 citado anteriormente (p. 221), son buenos instrumentos de regionalización. En particular, debe estudiarse seriamente el fondo de referencia del mapa, en función de las dominantes regionales y, naturalmente, de la escala; en algunos casos, puede in-

teresar más un fondo geodinámico (formaciones superficiales y pendientes) o demográfico (densidad de población) que el topográfico. Las síntesis a gran escala pueden efectuarse mediante una inteligente yuxtaposición de los elementos analíticos, o por una construcción simplificada que sólo conserve los elementos más significativos de la personalidad y de la cohesión regionales. A pequeña escala, el mapa no puede ser más que un mosaico tipológico que subraye, por el contrario, la diversidad de los paisajes regionales. Un mapa regional se construye como un texto, alrededor de dos o tres ideas principales que resultan de otras ideas menores, cada vez más subordinadas. Y la leyenda, si está bien hecha, debe reflejar fielmente esta jerarquía de los criterios y este proceso del pensamiento.

3. Caso particular de los mapas de intervención

Se denominan en este trabajo *mapas de intervención* a aquéllos especialmente establecidos para una acción determinada sobre una región, un paisaje o un lugar. Se definen también algunas veces como mapas aplicados, de aplicación, o geotécnicos. Estos mapas están concebidos para responder a las preocupaciones del ingeniero o del administrador.

Un mapa de intervención es un mapa de correlaciones que pone en juego los datos técnicos de un problema con las consecuencias que se producen, según que estos datos se conserven tal como son, o sean, más o menos considerablemente, modificados. Por lo tanto, un mapa de intervención es de la misma naturaleza que los de correlación anteriormente estudiados; pero es más selectivo, en el sentido de que retiene solamente aquellos elementos que conciernen al problema tratado, los cuales se obtienen directamente sobre el terreno, o a partir de otros mapas ya existentes. La escala debe permitir la representación de todos los detalles que se juzguen útiles. El mapa debe ser, ante todo, eficaz, es decir, preciso y fácil de leer a la vez, lo que requiere una máxima simplificación de las combinaciones gráficas y una realización técnica impecable, pero ligera (véase, más adelante, pp. 269-270).

V. Series y atlas

Una *serie* es un conjunto de mapas del mismo tipo, generalmente a la misma escala, que cubre con todos ellos un territorio determinado. Una *serie nacional* es una serie de mapas dedicados a un mismo país. Una *serie internacional* cubre varios países, o a veces incluso toda la tierra. Los mapas de una misma serie tienen, en principio, el mismo objeto y la misma leyenda. Forman una colección coordinada, cuya división en hojas separadas sólo obedece a que la escala y el área elegidas no permiten su representación en un solo documento, o bien a que el fenómeno a representar evoluciona con el tiempo. Se pueden concebir también series analíticas de mapas, de inventario o de referencia (meteorológicos, geológicos, forestales, demográficos, de carreteras, aeronáuticos, etc.), así como series de mapas de correlación (climáticos, geomorfológicos, edafológicos, de cobertura vegetal, de ocupación del suelo, de entorno, etc.).

El problema más complejo en el establecimiento de una serie, aparte de los medios de investigación que requiere, es la concepción de una leyenda común a todos los mapas. En efecto, al comenzar la redacción de una serie extensa, es difícil prever las situaciones que se producirán. Conviene por ello basar la leyenda en principios metodológicos precisos, pero lo bastante flexibles como para ser modulados técnicamente, en función de las circunstancias locales, a medida que los trabajos avanzan. De todos modos, conviene estudiar con cuidado, y mantener desde el principio al fin de la edición, una presentación y una información gráfica auxiliar homogéneas, que constituyan un nexo de unión entre las hojas.

Un *atlas* es una colección ordenada de mapas, concebida para representar un espacio dado y exponer acerca de él uno o varios temas que le conciernen.[39] Éste es uno de los medios de que dispone el cartógrafo para describir el conjunto de aspectos geográficos de una región, de un país o del mundo entero. Para desempeñar un papel práctico, los atlas deben contener el máximo de información en un volumen con formato tan reducido como sea posible, y presentarla de un modo expresivo y accesible.[40] Según su contenido, pueden dis-

tinguirse al menos dos tipos: los *atlas de referencia*, que tienen por objeto conservar memoria de los lugares y de sus topónimos, siendo esencialmente documentos de localización y de topología;[41] y los *atlas temáticos*, que son documentos descriptivos, cuantitativos y explicativos, a nivel mundial, nacional o regional, y también científicos, prácticos o escolares, pudiendo estar consagrados a un mismo tema en varios países, o a diferentes temas en un mismo territorio.

En un atlas, las escalas y proyecciones de los mapas que lo componen no son forzosamente las mismas, sino que dependen de la extensión del país estudiado, del objeto tratado, del nivel de detalle al que se quiere descender y de la calidad de la información disponible. En general, los mapas están a media o pequeña escala; a gran escala no se tratan más que casos particulares, tales como planos de ciudades o modelos significativos. Siempre que sea posible, la representación debe basarse en mapas analíticos o en series a gran escala. Pero normalmente hay que contentarse con utilizar colecciones heterogéneas, o mapas redactados diferentemente a la escala de publicación. En todo caso, los atlas son generalizaciones que exigen del cartógrafo un espíritu de síntesis muy desarrollado y una gran habilidad técnica.

La empresa de redactar un atlas no es fácil, aun suponiendo resueltos los problemas de documentación, que no son, por cierto, los menos complicados. El cartógrafo está limitado por un determinado formato y un cierto estilo de presentación, estética y técnica, de los que no puede liberarse. Toda la obra debe estar pensada dentro de este marco prefijado, por lo que es preciso atenerse a un plan rigurosamente establecido. Por ejemplo, puede haber interés en tratar los temas comunes a una misma escala, dentro de lo posible, o bien a escalas comparables, y en un mismo sistema de proyección. En cambio, pueden considerarse temas particulares para algunos países o regiones. La presentación gana mucho en homogeneidad cuando los fondos de referencia, en mapas a diferentes escalas de un mismo territorio, se derivan unos de otros; la redacción de estos fondos debe constituir la primera preocupación de los autores de un atlas. Hay que considerar después el estilo, la paginación, la información gráfica auxiliar y el precio de coste. Finalmente, hay que armonizar

CUADRO 3. — *Estado de la cartografía temática* (inspirado en J. Bertin)

Temas	*Período de validez de la información*	*Ejemplos de mapas*		
		Sinópticos, 1:1.000.000	*Regionales, 1:1.000.000 a 1:100.000*	*De detalle, 1:100.000*
Topografía Geofísica Geología Geomorfología Edafología Climatología Hidrología Cobertura vegetal Historia	25 años Renovación de las técnicas y conceptos científicos	Mapa batimétrico de los océanos Series internacionales de 1:10.000.000 a 1:2.000.000, geológicas, edafológicas, geomorfológicas Mapas Unesco a 1:5.000.000 Mapas de la URSS a 1:4.000.000 Atlas de referencia	Series nacionales francesas: topografía, 1:100.000, 1:250.000 geología, 1:320.000 cobertura vegetal, 1:200.000 edafología, 1:100.000 climatología, 1:100.000 sedimentología marina, 1:100.000 Atlas históricos	Series nacionales francesas: topografía, 1:50.000, 1:25.000 geología, 1:50.000 geomorfología, 1:50.000 Mapas locales: edafología, formaciones superficiales, asociaciones vegetales, geomorfología Inventarios arqueológicos
Ocupación del suelo Morfología urbana Geomorfología dinámica	10 años Cobertura aérea	Atlas temáticos Ocupación del suelo, Francia, 1:400.000 Estructuras agrarias, Francia, 1:2.500.000	Atlas nacionales y atlas regionales Ocupación del suelo, Italia, 1:200.000 Bosques, Francia, 1:100.000 Atlas de cuencas hidrográficas	Ocupación del suelo, de 1:100.000 a 1:10.000, Polonia, Hungría, Gran Bretaña, Francia... Inventarios ecológicos Dinámica litoral, avalanchas
Demografía Producción Comunicaciones Hacienda pública Polución, ordenación Urbanismo	5 años Censos Planes	*Atlas o series económicos, demográficos Atlas o series políticos, escolares, ordenación del territorio	*Estados estadísticos *Opiniones políticas Migraciones de población Regiones agrícolas Comunicaciones y tráfico Esquemas directores	Medio ambiente y contaminación, Francia, 1:50.000 Planes de equipamiento, POS, ZUP *Planes de urbanismo
Balances económicos y financieros Transportes Precios, empleo	1 año Presupuestos Cuentas administrativas Boletines estadísticos	*Balances de Estados *Atlas estadísticos ministeriales *Flujos de circulación anual	Navegación, balizamientos Mapas de carreteras *Balances regionales Mapas prospectivos	Aterrizajes Mapas geotécnicos *Catastro *Policía urbana
Meteorología Estado del mar Nevadas Circulación	1 día Teledetección, por satélites Radio, Televisión	*Boletines meteorológicos diarios Boletines de nieve	*Circulación por carretera	*Circulación urbana

*. Automatización experimental u operacional

los colores para reducir su número, estudiar una nomenclatura apropiada e intercambiable en el mayor grado posible de una plancha a otra, prever las impresiones en in-folio o en desplegables, y adoptar una encuadernación compacta o articulada, dependiendo de los proyectos de utilización del atlas y de su puesta al día.

Componer un atlas es siempre un trabajo de larga duración, lo que representa un handicap cuando versa sobre temas de evolución rápida. En todo caso, es un trabajo que no puede tener éxito más que ciñéndose a un plan de ejecución en el que deben entrar en juego las mejores cualidades del cartógrafo.

VI. BOSQUEJO DE LA CARTOGRAFÍA TEMÁTICA MUNDIAL

Es prácticamente imposible dibujar un cuadro que refleje de un modo completo la cartografía temática mundial.[42] El prodigioso impulso que ha experimentado últimamente tiene su contrapartida en una extrema diversidad de los métodos y medios de realización, y sobre todo de expresión. Por un efecto derivado de su propia vitalidad y profusión, la produccion de mapas temáticos se muestra no solamente variada, sino también un poco anárquica; cambia con el temperamento de los autores, con las tradiciones científicas y cartográficas locales y con las técnicas empleadas que, además, dependen en gran medida de los medios financieros. Esta diversidad hace a veces difícil la comparación de los documentos entre sí. Puede suceder que, para mapas de la misma naturaleza, la presentación sea tan diferente que haga imposible la necesaria comparación de los resultados obtenidos. De aquí resulta una pérdida inútil de tiempo y energía para establecer las correlaciones deseadas, y para construir correctamente mapas de síntesis a escala internacional, continental o mundial.

Incluso si se eliminan los mapas temáticos incluidos en obras, artículos o notas de todo tipo, para conservar sólo las series significativas y los atlas, las realizaciones siguen siendo innumerables. El cuadro 3, inspirado en J. Bertin,[43] sólo hace inventario de algunos ejemplos característicos acerca de los temas universalmente tratados. Estos temas están clasificados a la vez por los tipos espaciales de mapas, es decir por escalas, y por tiempo de amortización de la información, es decir por los períodos óptimos de su validez. Más que una lista de títulos, se trata de enumerar los diversos tipos de mapas que son o pueden ser realizados por los servicios mundiales dedicados a la cartografía. Para no sobrecargar demasiado este cuadro, se ha referido de modo especial a las realizaciones francesas. Cuando la oportunidad de automatización se estima oportuna, se hace constar esta circunstancia mediante un asterisco.

En el campo de la "geografía física", entendida en su sentido más amplio, se asiste hoy día a la renovación de antiguas series (sobre todo geológicas) y a la aparición de otras nuevas (geomorfológicas, edafológicas, biogeográficas, bioclimáticas). Los mapas de vegetación y los de depósitos blandos (formaciones superficiales, suelos, sedimentología del Cuaternario) son, sin duda, los que más han progresado en los últimos años. En el campo de la "geografía humana", la diversidad es quizá mayor. Los mapas históricos, concebidos cada vez más como una proyección en el tiempo de los económicos y socio-políticos actuales, dan una nueva dimensión al estudio de las sociedades y los Estados. Se multiplican los mapas demográficos y de estructuras sociales, aunque demasiado a menudo han caducado ya cuando se publican. La representación de la ocupación del suelo ha sido objeto de muchos ensayos, tanto en el plano estadístico como en el dinámico; pero las series internacionales completas son raras.

De un modo regular los servicios oficiales publican puestas al día de sus actividades cartográficas. La Unesco subvenciona o dirige a nivel mundial la publicación de mapas temáticos a pequeña escala, sobre temas geológicos, bioclimáticos, geomorfológicos, etc. La FAO hace otro tanto respecto a los mapas edafológicos, agrícolas y de ocupación del suelo. A nivel de Estados, las preocupaciones están evidentemente ligadas a los nuevos problemas planteados por la planificación económica y la ordenación del territorio. Con tal motivo, los mapas geotécnicos, los de potencialidades ecológicas, los de producción económica, y los prospectivos (esquemas directores y planos de urbanismo) toman una importancia creciente, con respecto a los mapas de inventario. La inquietud por poner al día, rápidamente

y por todos los medios, incluyendo la automatización, y la demanda inmediata de documentos, incluso antiestéticos, con tal de que sean eficaces y operacionales, frena probablemente la redacción de atlas temáticos.

Existen sin embargo, desde hace mucho tiempo, atlas temáticos eruditos, escolares y populares que, con diversa fortuna, intentan dar una imagen de los aspectos y actividades del mundo. Pero, a partir de la postguerra, se acusa una gran tendencia a redactar atlas concebidos como expresión gráfica exhaustiva de todos los conocimientos geográficos existentes sobre un país o una región. Francia fue uno de los primeros Estados que poseyeron un *atlas nacional*,[44] el cual constituyó uno de los modelos que han servido para la redacción de otros similares;[45] fue también uno de los raros países donde, a pesar de las dificultades, pudo efectuarse una segunda edición de puesta al día. Actualmente existen una treintena de atlas nacionales, acabados o en curso de finalización. No obstante, los retrasos de publicación son demasiado grandes para que los resultados puedan considerarse interesantes dentro de los marcos modernos de acción territorial. Por esta razón, se prefiere a menudo limitarse a atlas temáticos más especializados, ligados directamente a las preocupaciones de la ordenación, o a otros más localizados, llamados *atlas regionales*, cuyos límites territoriales vienen menos definidos por los criterios geográficos que por los administrativos de intervención. En algunos casos, estos documentos toman el aspecto de atlas urbanos; por ejemplo, los de Berlín y Londres, y, en cierta medida, también los de París y la región parisina. Sin embargo, estas redacciones exigen también tiempos demasiado largos, puesto que los cambios son aún más rápidos a gran escala que a pequeña escala, por lo que la mayor parte de los servicios prefieren tratar a su modo la propia producción cartográfica, de acuerdo con sus propias necesidades.

Del examen de los mapas temáticos, publicados casi de un modo general por todo el mundo, parece que pueden obtenerse algunas conclusiones sobre las tendencias de la cartografía y los métodos empleados. Se constata, ante todo, la existencia de un permanente esfuerzo de originalidad en la búsqueda de medios de expresión, utilizando del modo más amplio posible todos los recursos técnicos gráficos modernos. Es cierto que estos recursos vienen limitados, tanto por el coste de las realizaciones como por el riesgo de suministrar al lector un jeroglífico indescifrable. No hay que confundir, en efecto, un mapa complicado con un buen mapa. Pero algunos cartógrafos, y especialmente los franceses, se empeñan todavía en mantener en sus documentos unas cualidades estéticas que los hacen armoniosos y facilitan su lectura, pero que no preocupan a los tecnócratas, ávidos de "rentabilidad". También se constata una preocupación por la elección lógica de los símbolos y colores, lo que tiende a hacer los mapas más expresivos, mejor adaptados a su objeto y, por lo mismo, más eficaces.

Algunos cartógrafos, incluso, consideran que una mayor despreocupación del lenguaje cartográfico y una automatización más acelerada de los procedimientos de cálculo y de redacción, garantizarían un progreso que permitiría producir más deprisa mapas más simples, pero más numerosos, y por tanto más fáciles de mantener al día. Por lo que se refiere a la cartografía de inventario y a la de investigación, se acusa como rasgo notable el recurso, cada vez más frecuente, al uso conjugado de los métodos de levantamiento directo sobre el terreno con los de prospección o control por teledetección aérea. Con ello se obtienen mapas más fieles y precisos, de los cuales, por generalización razonada, pueden extraerse otros de conjunto a menor escala, conservando muchos valores característicos de las escalas más grandes. También se confirma en este campo, sobre todo en Europa occidental y en los países del Este, la tendencia a una redacción analítica que permita la puesta en situación de todos los elementos de un complejo. Lo que no impide tener buen cuidado de que, a nivel de lectura global, resalten claramente las combinaciones sintéticas significativas.

Un desarrollo como éste no podría producirse sin plantear nuevos problemas, que en este caso se refieren a la propia finalidad de la cartografía temática y a las necesidades de formación de los cartógrafos. Salvo en el caso de propugnar una simplificación extrema, cara a un futuro en el que la máquina substituiría al hombre de un modo absoluto (lo que bien podría no ser una mera ilusión), conviene, en efecto, informar mejor a los investigadores sobre los méto-

dos existentes para la realización de mapas, e iniciar mejor a los cartógrafos en los temas que tendrán que cartografiar. Pero cartografiar, ¿para hacer qué? Hace ya tiempo, J. Bertin[46] demostró que la cartografía temática no es un simple estado de la información, sino un lenguaje de ámbito internacional, con los mismos títulos que las matemáticas o la música. Ello la faculta para intervenir en las diversas fases de la investigación, desde el inventario hasta el tratamiento de la información y la transmisión del mensaje, y siempre con intenciones específicas, de acuerdo con la intención del autor, la escala y el destino del documento. Así pues, no hay que extrañarse por la gran diversidad existente en la producción mundial de cartografía temática, ni por su aparente incoherencia.

No obstante, se hace sentir la necesidad de un esfuerzo de coordinación en numerosos dominios temáticos, con objeto de difundir mejor las informaciones y hacerlas comprensibles a un mayor número de personas. Sería posible así interesar a los no especialistas en cartografía, facilitándoles la lectura y explotación de los mapas. Esto sería especialmente importante en la cartografía *práctica*, tanto para la que pretende la transmisión de un mensaje científico, o la de carácter decisorio o ejecutivo, como para la que sólo intenta una puesta en memoria, es decir, la de inventario. Si, además de esto, se procediera a una normalización bien estudiada, basada en una colecta de datos coherente, apoyada en un tratamiento ordenado de la información cuantitativa y bien servida por una codificación correcta, sería posible abordar más seriamente la automatización de la cartografía temática.

En realidad, existe ya un cierto consenso bastante avanzado en algunas de estas direcciones. Así ocurre por ejemplo, desde hace ya tiempo, en los mapas topográficos, por lo que se refiere al tratamiento del relieve en curvas de nivel, o a la presentación de los principales elementos de la planimetría. Esto mismo se extiende a otros mapas más técnicos, como las cartas naúticas o aeronáuticas, y los mapas geológicos, meteorológicos, o de carreteras. Paso a paso, los esfuerzos de coordinación van incluyendo a otros mapas temáticos: fotográficos, geomorfológicos, demográficos, de ocupación del suelo, industriales, turísticos, etc.



Las tendencias a una normalización de los medios de expresión y, en cierta medida, de los medios de ejecución, pueden por tanto considerarse como bien afirmadas. Sin embargo, sería equivocado creer que una tal normalización sea posible, ni quizá deseable en todos los casos, a causa de la diversidad propia de las investigaciones y de la conveniencia de mantener una cierta libertad de expresión científica en los investigadores.[47] En efecto, ¿podría imaginarse el establecimiento de una leyenda universal que, incluso materia por materia, cubriese todos los casos conocidos o previsibles, y obligase a tratar los problemas de un modo paralelo en todas las regiones y a todas las escalas?

Es necesario, aquí como en todas partes, mantener las posibilidades de innovación, de acuerdo con los temas, la personalidad de los autores y el estado de avance de la ciencia. En caso contrario, existe el riesgo de esterilizar la imaginación creadora y, con ella, al progreso mismo de los métodos gráficos. Una cierta libertad técnica seguirá siendo siempre la mejor garantía de las posibilidades de desarrollo del progreso científico.

NOTAS

1. Por ejemplo, la *Bibliographie géographique internationale* y la *Bibliographie cartographique internationale*, publicadas bajo los auspicios de la Unión Geográfica Internacional; ambas aparecen con un retraso de dos o tres años, por término medio.

2. Por ejemplo el *Bulletin signalétique* del CNRS, o las *Fiches Bibliographiques* del departamento de información del *Bureau de recherches géologiques et minières* (BRGM).

3. Por ejemplo, los esquemas directores de ordenación y urbanismo (SDAU), los planos de modernización y de equipamento (PME), de ocupación del suelo (POS), de ordenación rural (PAR), etc., establecidos por iniciativa del Estado en diversos puntos del territorio francés.

4. Véase J. Bertin, *Le réseau de documentation graphique, Ann. Econ. Sos. Civil*, 1965, pp. 967-975. Y también las publicaciones de los Observatorios regionales de Ordenación territorial, la *Documentation française*, el IGN, el BRGM, etc.

5. Las obras sobre fotografía aérea y foto-interpretación son cada año más numerosas. Entre las más accesibles, citaremos: R. Chevallier, et. al., *Photographie aérienne, panorama intertechnique*, Paris, Gauthier-Villars, 1965; J. Tricart, S. Rimbert y G. Lutz, *Introduction à l'utilisation des photographies aériennes*, Paris, SEDES, 1970; R. Chevallier, *La photographie aérienne*, Paris, A. Colin, coll. "U_2", 1971; J. Carré, *Lecture et exploitation des photographies aériennes*, Paris, Eyrolles, 1972, 2 vols.; y a sus respectivas bibliografías.

6. En Francia, por ejemplo, el Bureau des Longitudes suministra, en su anuario, impor-

tantes informes astronómicos, geodésicos, demográficos y económicos; el Office National Météorologique (ONM) publica un *Bulletin quotidien d'études* (BOE) y un *Bulletin quotidien de renseignements* (BOR), asi como series y tablas climatológicas; el Institut National de la Statistique et des etudes Economiques (INSEE) es la principal fuente de informaciones demográficas y socio-económicas.

7. *La Documentation francaise*, editada por el Sécretariat Général du Gouvernement, 29-31, quai Voltarie, 75006 Paris.

8. M. Barbut, *Mathémathiques des sciences humaines*, PUF, col. "Sup.", 2 vols., 1967-1968; S. Ehrlich y C. Flament, *Précis de statistique*, PUF, col. "Sup", 1966; J.-P. Benzecri, *L'analyse des données (1. Taxonomie; 2. L'analyse des correspondances)*, 2 vols., Paris, Dunod, 1973.

9. J.-B. Racine y H. Reymond, *L'analyse quantitative en géographie*, PUF, col. "Sup", 1973; P. Haggett, *L'analyse spatiale en géographie humaine*, A. Colin, col. "U", 1973.

10. J. Bertin, "Graphique et mathématique. Généralisation du traitement graphique de l'information", *Annales Econ. Soc. Civil*, 1969, pp. 70-101.

11. "Rapport national sur l'automatisation de la cartographie en France", *Bull. Com. fr. de Cartogr.*, n.º 62, 1974, y n.º 63, 1975.

12. Por "salida" (en inglés *output*) se entiende, en el lenguaje informático, la forma de presentar los datos resultantes de un tratamiento en ordenador (nota del traductor).

13. *Bull. du Com. fr. de cartogr.*, n.º 23, 1965, pp. 134-138.

14. W. Bunge, *Theoretical geography*, Lund Studies in Geography, 1962, 210 páginas.

15. Véase F. Cribier, M. Drain y F. Durand- Dastes, *Initiation aux exercices de géographie régionale*, Paris, SEDES, 1967.

16. Mapas edafológicos de Francia a 1:1.000.000, y a 1:100.000, publicados por el Serv. del mapa edafológico. El nivel del taxon en la clasificación varía, naturalmente, según la escala.

17. Véase *Classes of land-surface form of the 48 states of USA, by E.H. Hammond, Ann. of the Assoc. of Amer. Geogr.*, n.º 54, I, 1954. Las unidades cartografiadas son del tipo: "Región de plataformas calcáreas, comprendida entre 1.000 y 1.500 m, y cortada por valles profundos de más de 100 m".

18. P. Brunet, "Paysages agraires", a 1:2.500.000, lámina II-2 del *Atlas National de l'aménagement du t[illegible]oire*, Paris, 1963.

19. R. Brunet, "[illegible]rtes des pentes", *Rev. géogr. des Pyr. et du S.-O.*, 1963, pp. 317-334.

20. Véase por ejemplo, [illegible]ámina "Hydrografía", en el *Atlas de Francia*, Paris, 1951-1956.

21. A. Siegfried, "Géo[illegible] électorale de l'Ardeche sous la III^e République", *Cah. de la Fondation nationale des S[illegible] politiques*, Paris, A. Colin, 1949.

22. Existen muchas publ[illegible] dedicadas a este tema; de ellas, sólo citaremos el volumen "Cartographie géomorpholo[illegible] *Mém. et doc. CNRS*, Paris, 1972, que contiene una abundante bibliografía y un impor[illegible] lote de mapas de muestra.

23. *Légende pour la carte géomorphologique de la France au 1:50.000*, CNRS, RCP n.º 77, Paris, 1970. Véase también F. Joly, "Instructions pour le levé des cartes géomorphologiques au 1:50.000", *Trav. du lab. de géo. phys. Université Paris VII*, n.º 1, 1973, pp. 45 63.

24. Se pueden citar también, entre los mapas de correlación que se refieren al medio natural, los siguientes: *Carte climatique détaillée de la France au 1:100.000*, Grenoble, CNRS, Rech. cartograph. appliquées au climat et à l'hydrologie, Gap, Ed. Ophyrs. Y *Carte de la végétation de la France au 1:200.000*, Toulouse, CNRS, Serv. de la carte de la végétation.

25. Véase "Cartographie de l'utilisation du sol", colección de articulos presentados en

una sesión temática de la Assoc. de Geogr. fr., *Bull. Assoc. Géogr. fr.*, 1974, pp. 275-322, con bibliografía. Véase también M. Sachet, *Cartographie de l'utilisation du sol. Problèmes de méthodes. Problèmes d'echelle*, tesis del 3.^er ciclo, Université Paris VII, 1975.

26. Véase A. Perpillou, "L'utilisation agricole du sol en France et les transformations des paysages ruraux", *Acta geographica*, Paris, junio 1961, pp. 9-21, con dos resúmenes en color del mapa. Y "Construction de la carte des paysages ruraux dans l'agriculture française", *ibid*, n.º 18, 1952, p. 110.

27. F. Joly, *Une carte au 1:1.000.000 de l'utilisation du sol au Maroc; application de la méthode cartographique à la recherche des régions géographiques*, Rabat, 1960.

28. Véase *Report of the Commission on World Land Use Survey for the period 1949-1952*, UGI y Unesco, Worcester, 1952.

29. *Carta della utilizzazione del suolo d'Italia*, Roma, Consiglio naz. della rich., 26 hojas a 1:200.000.

30. *Carte de l'occupation du sol au 1:100.000*, hoja de Langon, Paris, IGN, Serv. de photo-interprét., 1973.

31. Véase P. Brunet, *Carte de l'utilisation du sol de Mézidon au 1:50.000*, Caen, Centre de rech. sur l'évol. de la vie rurale, 1974. Y P. Flatres, "Cartographie de l'utilisation du sol dans le Nord; méthodes et résultats", *Hommes et Terres du Nord*, n.º 2, 1966.

32. G. Rougerie, *Géographie des paisages*, Paris, PUF, colec. "Que sais-je?", 1969. Véase también el n.º 3, 1973, de *L'Espace géographique*, Paris, Doin, número dedicado al análisis de los paisajes.

33. H. Gaussen, "L'emploi des couleurs en cartographie", *Bull. serv. de la carte phyto-géogr.*, AIII, 1958. Una de las ventajas de este método consiste en que es generalizable, incluso a pequeña escala; véase, por ejemplo, la hoja "Tapis Végétal", a 1:1.000.000, en el *Atlas de Francia*.

34. *Carte de la végétation de la France au 1:200.000*, Toulouse, CNRS, Service de la carte de la végétation.

35. Citaremos especialmente los trabajos del Centre d'études phytosociologiques et écologiques (CEPE) de Montpellier, y los de R. Molinier y de R. Nègre, en Marsella.

36. D. Mathieu, G. Rougerie y J.-C. Wieber, "Projet de cartographie des structures de la végétation et des témoignages de la dynamique érosive", *Bull. Assoc. Géogr. fr.*, 1971.

37. G. Bertrand, "Paysage et géographie physique globale", *Rev. géogr. Pyr. et S.-O.*, 1968, pp. 249-272.

38. F. Cribier, M. Drain y F. Durand-Dastes, *Initiation aux exercices de géographie régionale*, Paris, SEDES, 1967.

39. "Glossaire français de cartographie", *op. cit.*, 1970.

40. Unión Geográfica Internacional, Academia de Ciencias de la URSS y Comité Nacional de Geografía Soviético, *Atlas nacionales*, Moscú-Leningrado, 1960, página 3.

41. Véase más atrás, p. 170.

42. C.B.M. Lock, *op. cit.*, p. 169; constituye un repertorio abundante y cómodo, pero por fuerza incompleto; véase también W.Witt, *Thematische Kartographie, Methoden und Probleme, Tendenzen und Aufgaben*, Hannover, 1967.

43. J. Bertin, "La cartographie temátique en France", *Bull. Comité fr. de Cartogr.*, n.º 52, 1972, pp. 53-85.

44. *Atlas de France*, publicado por el Comité national de Géogr. y la Soc. franc. de Cartographie; 1.ª ed., 1931-1946; 2.ª ed., 1953-1959. Antes de éste se habian publicado: *Atlas de Finlandia*, 1899; *Atlas de Egipto*, 1928; *Atlas de Checoeslovaquia*, 1935; *Atlas de Italia*, 1940.

45. Véase *Atlas nacionales*, Moscú-Leningrado, UGI, Academia de Ciencias de la URSS y Comité Nacional de Geografía Soviético, 1960.
46. Sobre todo en su *Sémiologie graphique, op. cit.*, 1967.
47. F. JOLY, "Problèmes de standardisation en cartographie thématique", *Ann. intern. de cartogr.*, XI, 1971, pp. 116-119.

CAPÍTULO IV

REALIZACIÓN Y USO DE LOS MAPAS

En las páginas precedentes se ha aludido varias veces a los problemas que plantean la realización y el uso de los mapas. Examinaremos ahora sucintamente *las técnicas de dibujo y de reproducción e impresión*. Un breve repaso a la *cartografía automática* nos permitirá incluir unos métodos que se encuentran en vías de evolución constante y rápida. Y un párrafo sobre la lectura y uso de los mapas nos conducirá, para concluir, a la esencia misma de la cartografía.

I. TÉCNICAS DE DIBUJO

El dibujo de ejecución de los mapas consiste en establecer, a partir del modelo suministrado por las minutas, las *planchas matrices*, o "typons", que han de servir para la impresión.[1] Hay que considerar dos casos: los *mapas monocromos*, para los que se realiza una sola plancha, que contiene todos los elementos del dibujo, y los *mapas policromos*, para los que se confeccionan tantas planchas como colores puros (o colores básicos) existan, es decir, como tintas se utilicen en la máquina. Se distinguirán, para cada color básico, la *plancha fundamental*, o plancha de línea y las que llevan las representaciones de símbolos; todas ellas se unen al final en una plancha única: la plancha matriz.

Las técnicas del dibujo cartográfico han evolucionado mucho, sobre todo en los últimos decenios. Durante largo tiempo se utilizó un trazado *a la inversa*, directamente sobre la misma plancha de im-

presión, grabado en madera o cobre, o por dibujo sobre piedra litográfica. Esta práctica exigía cualidades técnicas y artísticas que sólo un artesano experimentado podía poseer. La aparición de la fotografía, en la segunda mitad del siglo XIX, revolucionó el dibujo cartográfico, permitiendo el trazado *directo* de los planos, su transformación por ampliación o reducción, su multiplicación y su superposición. Actualmente, el laboratorio fotográfico constituye un complemento indispensable del taller de dibujo.

A mediados del presente siglo se produjo otra revolución, no menos fundamental, con la aparición de los plásticos. Los soportes clásicos (papel Canson o papel de calco) fueron sustituidos por otros indeformables, provistos o no de revestimientos adicionales, tales como capas susceptibles de ser grabadas o impresionadas. Estas modificaciones trajeron consigo innovaciones en el equipo y en la propia formación de los delineantes. El delineante cartográfico de hoy, incluido en una profesión y un entorno social de tipo industrial, no tiene más que un lejano parentesco con el artista-cartógrafo de antaño.

A) *Los soportes del dibujo*

El dibujo puede realizarse sobre un soporte opaco o transparente.

Los *soportes opacos* se utilizan normalmente para el dibujo de las minutas, y más raramente para los dibujos de ejecución, excepto en los croquis monocromos que hayan de tratarse por tipografía. El registro y la copia se efectúan, en efecto, con ayuda de una mesa luminosa, si el soporte no es demasiado grueso, o por reporte, siempre muy impreciso, al carbón o sanguina. Para obtener la plancha matriz definitiva, el dibujo sobre soporte opaco debe ser finalmente fotografiado. Esto permite ejecutar el dibujo a una escala mayor que la definitiva, y aprovechar así las ventajas de la reducción; a saber: obtener un trazado más fino y una atenuación de los errores gráficos. Los soportes opacos deben tener todas las cualidades necesarias para que el trazado no produzca rebabas, y el contraste fotográfico esté bien definido. Se les elige blancos y lisos, con objeto de que ad-

[illegible] uso del raspador o del gouache para borrar, y eventualmente armados, para evitar las deformaciones del papel; por ejemplo, la cartulina blanca o bristol, el blanco de Rives y sobre todo, el Canson para lavado técnico, en su cara lisa.

Cuando se utilizan *soportes transparentes*, el dibujo exige operadores más hábiles y, en todo caso, más tiempo y cuidado. Los papeles de calco, delgados y ligeros, para trabajos de precisión, y más gruesos (tipo "cuero", de aspecto graso, o tipo blanco, llamado de "arquitecto"), son cada vez menos utilizados en cartografía; se emplean más bien para croquis expeditos, en los que son menos importantes las variaciones de escala debidas a las deformaciones del papel.

Hoy en día han sido reemplazados por los *soportes plásticos transparentes*, perfeccionados sin cesar, que pueden clasificarse en categorías cada vez más numerosas. Los acetatos de celulosa ("Ultraphan, Kodatrace, Rhodoid") son todavía relativamente inestables y, aunque cómodos para las preparaciones, hay que evitarlos en los trabajos que necesitan registro. Los productos vinílicos (Astrafoil, Astralón, Vinylite) y los poliesteres (Rhodolene, Herculene) son más seguros. Los soportes más estables son los de poliester fabricados con bases de "cronar", "mylar" o "estar". Puede aumentarse la estabilidad de los plásticos conservándolos colgados, o extendidos, mejor que enrollados. En todo caso, es recomendable utilizar siempre el mismo tipo de soporte en cada trabajo.

B) *El dibujo de línea*

El dibujo de línea ordinario exige mucha habilidad, pero los instrumentos necesarios son de uso corriente y relativamente baratos. Se emplean simples palilleros de plumilla, enteros, cortados o normalizados, rapidograph, plumas tubulares de distintos diámetros, tiralíneas, simples o dobles, fijos o giratorios, compases, bigoteras y, naturalmente, lápices más o menos duros. Para trazados precisos se utilizan guías, tales como reglas, escuadras, plantillas, reglas curvas o flexibles, y trazadores de normales. Para las inevitables correcciones se emplean gomas, raspadores, plumas y pinceles de aguada. Las

tintas deben ser bastante opacas y, al mismo tiempo, lo bastante fluidas para que no se sequen en el tiralíneas o en la pluma. Las tintas chinas se utilizan sobre todo en papeles y calcos, y las tintas especiales, con mordientes, en los soportes plásticos. Aunque van perdiendo terreno frente a los procedimientos más modernos, estos procedimientos clásicos de dibujo siguen siendo muy empleados en las preparaciones, en la redacción de minutas y en las ilustraciones sencillas, en tipografía. Se obtiene así un documento *positivo*, negro sobre blanco u opaco sobre transparente, que puede transformarse fácilmente en un *negativo* fotográfico.

El *esgrafiado*, o "scribing", permite aunar las ventajas de los soportes estables con la finura del grabado.[2] Este método va desbancando progresivamente al dibujo, en la ejecución de las planchas fundamentales. El procedimiento consiste en levantar con un instrumento trazador el recorrido de la línea, sobre una capa transparente o no, pero inactínica, es decir, impermeable a la acción química de los rayos luminosos. El soporte es de plástico o de vidrio, y el revestimiento suele venir ya preparado de fábrica, o bien lo extiende el propio delineante. Los instrumentos trazadores son punzones, cuchillas, o puntas de zafiro simples o múltiples, y de diversos anchos, que van montados en un mango, o sobre un chasis triangular o anular, provisto a veces de una lupa. El trazado se hace por superposición sobre la minuta en la mesa luminosa, o por medio de una imagen guía de la minuta copiada fotográficamente sobre el mismo revestimiento. Se obtiene así un documento *negativo*, líneas transparentes sobre fondo inactínico, que, si está a escala conveniente, puede servir como plancha matriz y llevarse directamente sobre la plancha de impresión. El aprendizaje de esta técnica es relativamente fácil, y la ejecución del grabado es más rápida y limpia que la del dibujo correspondiente.

C) *El dibujo de las masas*

El dibujo de las zonas cubiertas por símbolos se hace a partir de sus contornos, definidos sobre la plancha de línea. El procedimiento clásico consiste en hacer un *positivo* del modelo, dejando opacas las superficies a tratar con tintas planas, y cubriendo con tramas las superficies a modular en grises. Las tramas se dibujan con tiralíneas y trazadores de paralelas; también se utilizan tramas y estarcidos impresos en delgadas hojas de papel transparente, que pueden cortarse y pegarse sobre una hoja de montaje de plástico, retocando después con un pincel, al gouache, las zonas en tinta plana.

Para mapas de calidad, se utiliza generalmente la copia fotográfica de tramas prefabricadas sobre vidrio o plástico (que pueden ser muy finas), a través de los espacios abiertos en *máscaras* que protegen las partes no implicadas del mapa. Estas máscaras pueden prepararse, recubriendo con gouache las zonas que deben quedar protegidas; pero es preferible utilizar material *peliculable* ("strip mask"), levantando la emulsión inactínica, previamente extendida sobre toda la plancha de montaje, en las zonas correspondientes. Se expone a la luz un trazado de los contornos sobre la emulsión inactínica y se levanta la película de las superficies a despejar. A través de estas ventanas, se obtiene intercalando tramas, la cobertura tramada que se desea. Para cada color se realizan tantas planchas como valores a reproducir; después, se hace una copia sobre un clisé único que, a su vez, puede combinarse con la plancha de línea correspondiente.

D) *La rotulación*

La rotulación era anteriormente ejecutada a mano por delineantes especializados; trabajo pesado y difícil, que exigía una alta cualificación. Este procedimiento ha dejado paso a medios más modernos, pero sigue practicándose para efectuar correcciones y algunos pequeños trabajos.

Hoy existen varios métodos, cada uno adecuado a un tipo diferente de trabajo, y que pueden, además, combinarse. Para mapas corrientes y croquis rápidos, se utilizan plantillas de rotulación o letras transferibles. Para mapas más elaborados, se recurre a la composición tipográfica, a la máquina de escribir o a la monotipia. Las palabras se imprimen sobre un soporte adhesivo transparente, o se im-

presionan fotográficamente sobre una pelicula adhesiva. También puede emplearse la fotocomposición, a partir de matrices en bandas o discos magnéticos, que se manejan de un modo manual, mecánico o electrónico. La colocación se realiza cortando y pegando, palabra por palabra o letra por letra, y, más raramente, por impresión fotográfica directa sobre el soporte.

Las planchas de rotulación pueden hacerse a escala o reducirse fotográficamente. En este último caso, conviene estudiar bien la relación de reducción, de modo que quede asegurada la legibilidad. El clisé definitivo puede finalmente copiarse juntamente con la plancha de línea y con las planchas de tramas correspondientes, para obtener así un documento único.

E) *La selección de colores. El ajuste*

Si se trata de mapas policromos, se procede como ya se ha explicado para cada una de las planchas de color. El número de estas planchas depende en gran parte del efecto final que se quiera obtener. Para los mapas con una gama variada de colores, por ejemplo los geológicos, basta con establecer, a partir de una *carta de colores*, tres planchas, cada una de las cuales llevará las tintas planas y las tramas que, por superposición en la impresión, producirán los valores y tonalidades deseadas. Éste es el método llamado de *tricromía* (o de *cuatricromía*, si se añade el negro), que combina una plancha de amarillo, otra de azul (cian) y otra de rojo (magenta).[3] Pero en los mapas cargados de signos puntuales o lineales, como los geomorfológicos, deben hacerse tantas planchas como colores básicos existan, debido a que es difícil ajustar sobre una línea o un punto varios colores superpuestos.

Hay varios modos de seleccionar los colores. El más simple consiste en realizar cada plancha separadamente, a partir de la minuta Si el mapa no está muy recargado, también se puede partir de tanto clisés de la minuta completa como planchas de color haya que realizar. La selección se hace entonces clisé por clisé, tapando las partes a eliminar con capas de gouache en los negativos, o raspándolas en

los positivos. Para las reproducciones en tricromía, puede obtenerse cada una de las planchas básicas por fotografía del original, a través de filtros y tramas. También existen para esto fines lectores grabadores automáticos, de barrido. Aun así, sigue siendo necesario efectuar a mano algunos retoques difíciles, ejecutados por los cromistas, un tipo de especialistas muy solicitado.

En todos los casos, el problema fundamental es el ajuste de los colores o registro, que es tanto más delicado cuanto más numerosos y pequeños son los detalles, y cuanto mayor es el formato. La precisión necesaria es del orden de 0,1 a 0,2 mm, y se consigue mediante la superposición de referencias constituidas por cruces o círculos concéntricos, cuidadosamente señaladas en los márgenes del mapa, que se borran después de efectuado el ajuste en la máquina.

F) *Cambios de escala*

En el trabajo cartográfico, suele llegar un momento en que, por uno u otro motivo, se necesita cambiar de escala. Esto requiere, como ya se ha visto, un buen conocimiento de la generalización,[4] a nivel de concepto, y unos procedimientos prácticos de ampliación o, más frecuentemente, de reducción, a nivel técnico.

Desde hace mucho tiempo, se utilizan con este objeto *métodos gráficos*. El de los cuadrados consiste en cubrir el original con un cuadriculado y preparar otro cuadriculado homólogo, reducido en la proporción deseada. El traslado se hace entonces cuadrícula por cuadrícula, con la ayuda del compás de reducción (fig. 33). Este procedimiento será tanto más fiel cuanto más denso sea el cuadriculado. El pantógrafo es un instrumento compuesto de varillas articuladas que forman un cuadrilátero deformable, fijo en uno de sus vértices. De este modo, puede seguirse por un extremo el dibujo que se quiere reproducir, mientras por el extremo opuesto un trazador restituye la figura con la reducción conveniente (fig. 35). El principio en que se basa es simple, pero su utilización no lo es tanto. De todas formas, estos métodos sólo se aplican a trabajos fáciles, o que no necesitan una gran precisión.

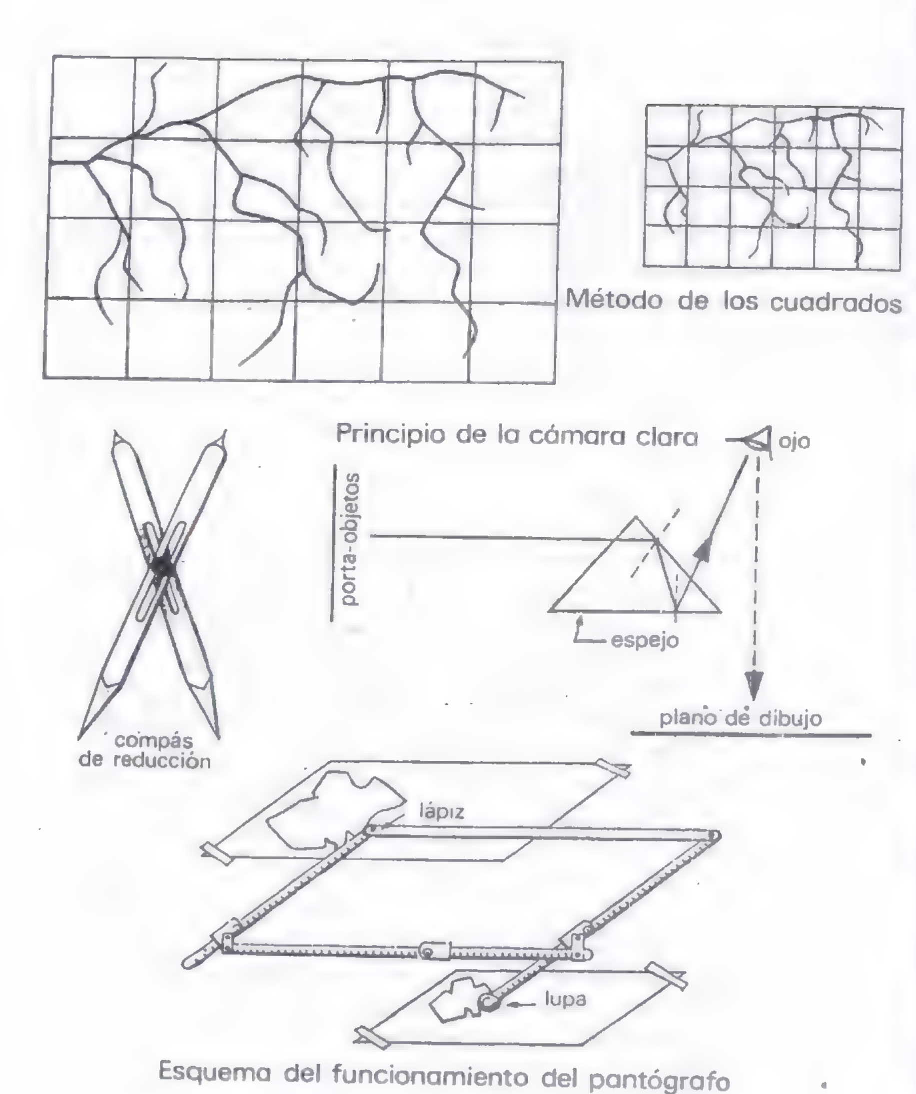


Fig. 35. — *Cambios de escala*

87 Los *métodos ópticos* se perfeccionan cada vez más. El pantógrafo óptico consiste en un prisma de doble reflexión, o en un juego de espejos, montados sobre un vástago, que permiten ver simultáneamente el original, montado en un porta-objetos más o menos alejado, y el plano de reducción sobre el que se dibuja, siguiendo la imagen virtual, que puede formarse a la dimensión deseada (fig. 35). Como el pantógrafo, este instrumento es de uso difícil y poco preciso. Resulta preferible servirse de ampliadores-reductores, que proyectan sobre un plano horizontal o vertical la imagen del objeto, bastando con copiar esta imagen, la cual previamente aumentada o reducida a voluntad, puede también impresionarse sobre una placa o película fotográfica. Actualmente, es este método fotográfico el más comúnmente utilizado.

II. TÉCNICAS DE REPRODUCCIÓN E IMPRESIÓN

Las técnicas modernas de reproducción de documentos cartográficos son muchas y variadas, estando cada una dirigida a diferentes objetivos. La elección entre ellas debe ser cuidadosamente considerada, por cuanto entraña a menudo una particular orientación del dibujo y de la confección de las planchas de tirada.

Esta elección depende de varios tipos de variables. Primero, del número de ejemplares que piense poner en circulación; número bastante pequeño, en general, cuando se trata de investigación científica o aplicada (memorias, tesis o informes técnicos), pero que puede ser mucho mayor si se trata de un artículo, un libro, una serie o un atlas. Después, del fin perseguido por el autor, según sea una simple información, de difusión restringida, o un documento más elaborado, dirigido a círculos de especialistas o al gran público. Finalmente, de los medios económicos disponibles: recursos limitados propios de los gabinetes o laboratorios, o bien créditos más o menos amplios, para usos industriales y comerciales.

A) *Reproducciones de pequeña tirada*

Cuando se trata de informes de difusión limitada, o de mapas de trabajo, el número de ejemplares se cuenta *por unidades*. Frecuentemente

basta con una *duplicación manuscrita*, en negro o en colores, al menos para los mapas más simples. Puede servir de ayuda la utilización de *procedimientos fotoquímicos o fotográficos*, que permiten reproducir documentos monocromos, o con contornos que pueden ser después coloreados a mano.

Estos mismos procedimientos ofrecen además la posibilidad de suministrar copias *por decenas*, en condiciones económicas aceptables, y a veces incluso en un número reducido de colores. Los más empleados son los siguientes:

— La *fotocopia*, actualmente generalizada en los laboratorios y gabinetes de estudio. Ya sea por métodos químicos, termoquímicos o electromagnéticos, permite siempre un uso instantáneo, sin necesidad de cámara oscura, a partir de originales opacos o transparentes. Algunos aparatos proporcionan un negativo archivable, y otros producen automáticamente tantos ejemplares como sean necesarios. Los mayores inconvenientes de la fotocopia son el formato limitado de las reproducciones y la imposibilidad, en las condiciones actuales, de obtener copias en color. Para esta clase de copias, todavía es preciso recurrir a la fotografía sobre papel o diapositivas, trabajo propio de los laboratorios industriales y bastante caro. Además, es difícil dibujar después con tinta sobre la prueba, por lo que este procedimiento no puede aplicarse a documentos que deban ser posteriormente completados o retocados.

— La *hectografía*, o duplicación al alcohol, sigue siendo un procedimiento de calidad mediocre, pese a sus últimos perfeccionamientos. Se aplica únicamente a dibujos de línea o groseramente tramados, y efectuados directamente sobre papel especial. Puede utilizarse para la reproducción de croquis en pequeño formato, que consten de uno a cinco colores, y para obtener unas cincuenta copias.

— El *ozalid*, o *heliografía*, es el sistema de tirada "azul" de los arquitectos, por revelado al amoníaco de un papel con emulsión sensible, que se expone a la luz a través de un original transparente. Los aparatos son actualmente inodoros y están automatizados, siendo capaces de obtener copias baratas de gran formato en azul, sepia o negro, sobre papel de una calidad suficientemente buena para poder escribir sobre él, y colorearlo. Desgraciadamente, las copias son originalmente monocromas, y la finura de las tramas utilizables es limitada.

— La *gelatinografía* o *dorel* consiste en una impresión fotográfica sobre una capa de gelatina sensibilizada, distribuida uniformemente sobre un

"mármol" o una mesa muy lisa, lo que supone la posibilidad de trabajar en formatos muy grandes. La exposición se hace a través de un original transparente, de línea o de tramas, que pueden ser muy finas. Las partes ocultas, no endurecidas por la luz, retienen la tinta de un rodillo que se pasa a mano. Después se aplica la hoja de copia sobre la superficie plana y se prensa con ayuda de otro rodillo compresor, como el litografía. Las reproducciones son de excelente calidad, y pueden hacerse sobre cualquier tipo de papel, incluido el Cansón de dibujo, para posteriores retoques o añadidos con tinta, lápiz de color o lavado. A pesar de las dificultades de ajuste, debidas a que la hoja de tirada está en posición invertida, se pueden hacer policromías de hasta cinco o seis colores. El mayor inconveniente es que el precio de esta producción, de tipo artesano y manual, disminuye muy poco con el número de ejemplares.

B) *Reproducciones en multicopista*

Para tiradas, de algunas *centenas* de ejemplares, pero en pequeño formato y limitadas a un material sencillo de gabinete o laboratorio, se pueden utilizar el *stencil* archivable y la *multicopista*.

El stencil consiste en una hoja de tejido fibroso o de papel cebolla impregnada de una sustancia de relleno que la hace impermeable. La hoja se perfora con la máquina de escribir o con la ayuda de una rueda dentada, y puede servir de soporte tanto a un texto como a dibujos de línea. Este procedimiento ha sido notablemente perfeccionado por los *stencils "electrónicos"*, que obtienen las copias directamente por medio de un lector fotoeléctrico capaz de analizar línea por línea el documento, que puede ser de línea o de tramas, opaco o transparente. El lector está acoplado a un estilete, que funciona mediante corriente modulada y perfora el stencil. De este modo, el original puede ser fácilmente preparado, combinando a voluntad la letra y el dibujo; incluso es posible añadir fotografías previamente tramadas.

Los stencils se llevan luego a una máquina multicopista, consistente en una pequeña rotativa de marcha rápida, manual o eléctrica, que puede producir hasta dos o tres mil ejemplares. También es posible realizar tiradas en varios colores, con un ajuste satisfactorio. Pero para tiradas mayores y de superior calidad, el *offset de oficina* es superior a la multicopista.

C) *Reproducciones de gran tirada*

Cuando la publicación sobrepasa *el millar* de ejemplares, es más sencillo, y a menudo más económico, recurrir a las técnicas de la *imprenta*,[5] que no presentan límites, en la práctica, al empleo de tramas y colores. Una vez realizadas la matriz de impresión, o *forma*, y su colocación en máquina, o *ajuste*, la mecanización total de las operaciones amortiza tanto más el precio de coste cuanto mayor sea la tirada. Además, la aplicación a la imprenta de las técnicas del fotograbado, que actualmente tienen más de cien años de antigüedad, proporciona reproducciones de gran calidad.

Se llama *fotograbado* al conjunto de operaciones que permite reproducir las matrices sobre planchas de metal, aprovechando la propiedad que tienen algunas sustancias coloidales bicromatadas de hacerse insolubles en el agua, o en soluciones ácidas, cuando han sido expuestas a la luz en capas delgadas y durante bastante tiempo. Se extiende la capa sensible sobre una placa de metal con ayuda de un rodillo, o bien se utilizan placas presensibilizadas; se expone esta placa a la luz, a través del documento original, en un chasis neumático iluminado por una lámpara de arco o de vapor de mercurio. Las partes no opacas del documento dejan pasar la luz, que endurece y hace insoluble la preparación subyacente. Por el contrario, las partes protegidas de la luz, siguen siendo solubles, y se eliminan por lavado, dejando libre el metal, que puede ser tratado entonces con ácido. El fotograbado hace también posible la reproducción de medios tonos, interponiendo entre el original y el clisé una trama cuadriculada que, por la difusión de la luz, dará sobre la placa puntos de un grosor proporcional a la cantidad de luz recibida. Este procedimiento, llamado de *tramado fotográfico*, permite descomponer el modelado continuo del original (por ejemplo una fotografía, o una pintura, o un lavado) en un punteado más o menos denso, y por tanto en superficies más o menos oscuras, que restituyen los valores iniciales.

Tanto para los mapas como para los textos, se utilizan tres métodos de impresión:

— La *tipografía* es el más antiguo, y emplea una matriz de impresión en relieve. Para la composición de textos, está constituida, desde la época de Gutenberg, por caracteres móviles dispuestos letra por letra (monotipia) o línea por línea (linotipia). Para ilustraciones y mapas, se grababa antiguamente sobre madera, con cuchilla o buril. Actualmente se utilizan *clisés* en metal, obtenidos por fotograbado. El coloide endurecido por la luz debe proteger las zonas destinadas a quedar en relieve y a ser entintadas; por

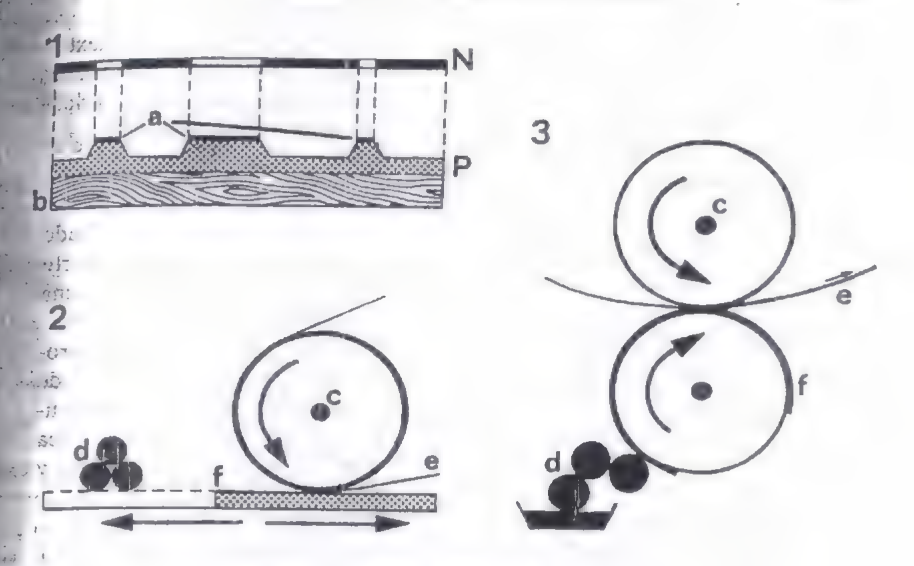


FIG. 36. — *Reproducción por tipografía*
1. Creación de la forma de impresión; N, plancha de tirada (negativo del original, en el reverso); P, clisé (positivo en el reverso); a, coloide endurecido y entintado; b, soporte del clisé, de madera. — 2. Máquina plana (plano contra cilindro). — 3. Máquina rotativa (cilindro contra cilindro); c, cilindro de presión; d, rodillos entintadores; e, papel; f, forma de impresión.

tanto, el original debe ser un documento transparente *negativo*, obtenido fotográficamente a partir de un dibujo positivo (lo que permite una eventual reducción), o bien establecido directamente por trazado sobre una capa esgrafiable (fig. 36). Se fija después el clisé sobre un soporte de madera y presionado, si hay lugar, contra los caracteres del texto. El traslado al papel se efectúa por contacto, con ayuda de una máquina plana, o por presión de una forma flexible, obtenida por vaciado a partir de un molde de cartón *(flan)* y montada sobre una rotativa. En dicha forma, por lo tanto, la imagen debe estar invertida, lo que dificulta las correcciones. Además, la presión produce un ligero aplastamiento del clisé, lo que impide el uso de tramas demasiado finas y ocasiona un rápido desgaste del relieve. Por ello, este procedimiento no conviene para tiradas muy grandes; entre 50.000 y 100.000 ejemplares, hay que prever que será necesario multiplicar las for-

mas. La tipografía es sobre todo un procedimiento de impresión de textos con figuras incluidas. En las aplicaciones cartográficas, hay que tomar grandes precauciones para conseguir resultados plenamente satisfactorios.

— El *huecograbado* se deriva del grabado en cobre a punta seca o al agua-fuerte. Utiliza una forma en *hueco* constituida por una multitud de alvéolos, que son otros tantos microdepósitos de tinta. La forma se obtiene por fotograbado en dos fases, a partir de un original que puede ser tratado en semi-tonos. Un papel de transferencia, llamado papel carbón, cubierto por una delgada capa de gelatina sensibilizada, se expone a la luz bajo una trama cuadriculada *negativa* muy densa (más de 20.000 cuadriculas por centímetro cuadrado), y bajo un *positivo* transparente de la imagen a reproducir. Se traslada en seguida este papel de transferencia sobre una hoja de cobre, poniendo en contacto la gelatina con el metal, y se lava con agua tibia, eliminando así el papel y el coloide no endurecido. Finalmente, se ataca con ácido el cobre descubierto. La imagen aparece entonces *invertida*, y compuesta, en las superficies a entintar, por una multitud de alvéolos, tanto más profundos cuanto mayor sea la opacidad del original (fig. 37). Para efectuar la tirada, se monta esta hoja de cobre sobre el cilindro de una rotativa. La tinta almacenada en un depósito o tintero, cuyo exceso es eliminado mediante un rasero, se deposita sobre el papel, mantenido en contacto por un cilindro de presión (fig. 37). La gran ventaja del huecograbado es que permite reproducir muy finamente los semitonos y facilita así la fusión de colores superpuestos. Por ello se utiliza principalmente en cuatricromías y reproducciones de obras de arte. Además, la impresión rotativa, muy rápida, y el poco desgaste de la forma se prestan a grandes tiradas, que por otra parte están justificadas por lo costoso de la preparación. De donde se deduce su empleo en la producción de ilustraciones destinadas a una gran difusión. En cambio, se emplea poco en cartografía ordinaria, debido a que el trazado y la rotulación, tramados, resultan desvahídos y ligeramente turbios, lo que no es compatible con la nitidez de expresión que generalmente se busca.

— El *offset* se deriva de la litografía. Utiliza una forma plana, sin relieve ni huecos, en la que la distinción entre zonas impresoras o no impresoras depende de la aptitud de la superficie para retener o no el agua, o una tinta grasa. Esta forma está constituida por una plancha de zinc o de aluminio, o bien bimetálica, de cobre y cromo, sensibilizada mediante una delgada capa de albúmina o de gelatina bicromatada. Existen planchas presensibilizadas positivas y negativas, de manera que puede partirse de un origi-

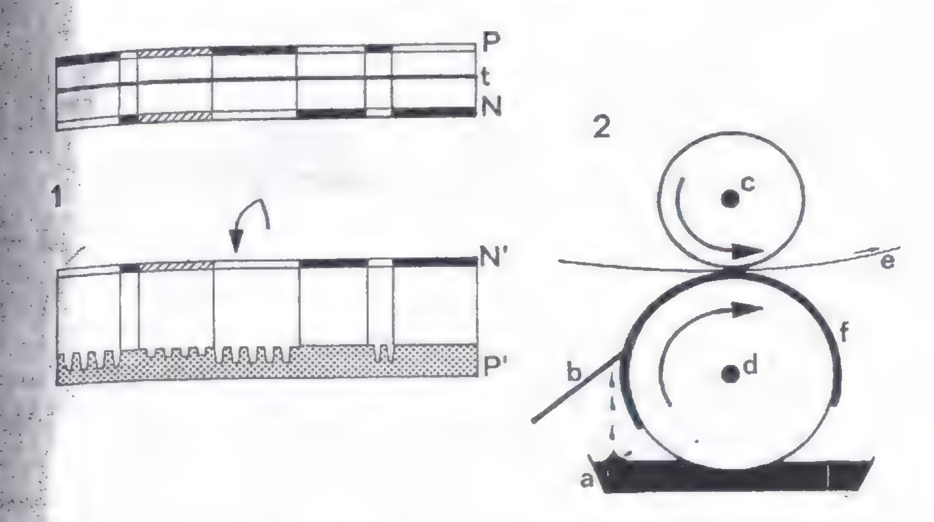


Fig. 37. — *Reproducción por heliograbado*

1. Creación de la forma de impresión: P, plancha de tirada (positivo del original, en el anverso); t, trama cuadriculada negativa; N, papel de transferencia, con la gelatina en la parte superior (negativo, en el anverso); N', papel de transferencia, con la gelatina en la parte inferior (negativo, en el reverso); P', forma en cobre, con alvéolos (positivo, en el reverso). — 2. Rotativa helio: a, depósito de tinta; b, rasero; c, cilindro de presión; d, cilindro porta-placas; e, papel; f, forma de impresión.

nal *negativo o positivo*, establecido sobre una capa esgrafiable o sobre película. La plancha bajo el positivo o negativo se expone a la luz de una lámpara de arco o de vapor de mercurio; después de un revelado y tratamiento químico adecuado, las partes en las que el metal ha quedado al descubierto retendrán el agua, y repelerán la tinta grasa que, por el contrario, será retenida por las partes donde la capa sensible se ha endurecido y conservado (fig. 38). La forma, en la que el dibujo aparece *a derechas*, se monta entonces sobre el cilindro portador de plancha de una máquina rotativa,[6] en contacto con un juego de rodillos de entintado y de mojado. La imagen entintada se recibe *invertida*, por contacto, sobre una lámina de caucho llamada *mantilla*, que a su vez la devuelve *a derechas*, por transferencia (*offset*) sobre una hoja de papel, mantenida en contacto por un cilindro de contrapre-

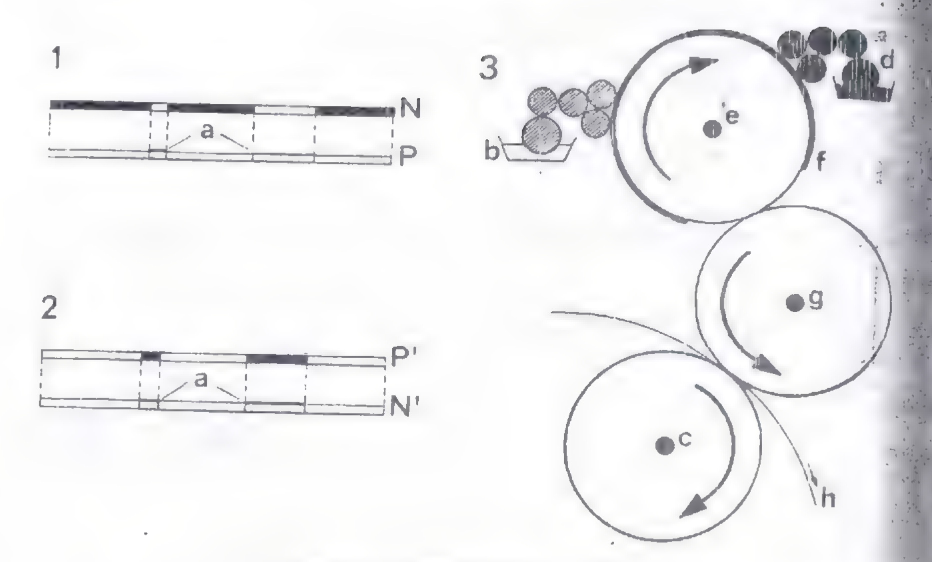


FIG. 38. — *Reproducción en offset*

1 y 2. Creación de la forma de impresión: N, plancha de tirada (negativo del original, en el anverso); P, placa positiva (positivo en el anverso); P', plancha de tirada (positivo del original, en el anverso); N', placa negativa (positivo, en el anverso); a, zonas secas impresoras. — 3. Rotativa offset: b, rodillos humedecedores; d, rodillos entintadores; e, cilindro porta-placas; f, forma de impresión; g, cilindro porta-mantilla; c, cilindro de contra-presión; h, papel.

sión (fig. 38). Como el huecograbado, el offset es un procedimiento muy adecuado para tiradas rápidas y de gran número de ejemplares. La forma, por no tener asperezas, es de mucha duración, fácil de obtener y relativamente barata. La reproducción, gracias a la transferencia por medio de la mantilla, es a la vez suave y fiel, admite bien el dibujo de línea las tramas más finas, y se presta fácilmente a las mezclas de colores. El hecho de trabajar constantemente a derechas facilita, además, la supervisión y las correcciones. El offset, que se perfecciona sin cesar y ha pasado recientemente de la industria al laboratorio y a la oficina, es sin lugar a dudas el procedimiento que mejor se adapta a la cartografía.

D) *Corrección de las pruebas*

Para el cartógrafo constituye una obsesión el entregar al impresor un documento impecable, sobre el cual no sea necesaria una intervención ulterior. Conseguir esto no es, desde luego, fácil. Aunque se suele comprobar, centímetro cuadrado por centímetro cuadrado, cada una de las planchas matrices, por separado y en superposición, tanto por parte del realizador del mapa, como por el autor y por algunas otras personas, es raro el documento en el que logran eliminarse todos sus defectos. Ahora bien: controlar y, en caso de necesidad, corregir un mapa durante la impresión, son operaciones prácticamente imposible de realizar, a no ser en talleres experimentales. Si sólo se trata de borrar, es posible intervenir sobre la misma forma; pero para añadir es necesario corregir la plancha matriz, y rehacer la plancha de cinc, o bien hacer otra plancha suplementaria, para una pasada de corrección. En todo caso, estas intervenciones son delicadas y costosas; para evitarlas, y para dosificar mejor las combinaciones de colores, se efectúa generalmente (al menos cuando el mapa es complejo) una tirada de prueba. Se disminuyen los gastos utilizando prensas simplificadas, llamadas máquinas *de pruebas*, que son máquinas planas de manejo manual. También puede utilizarse alguno de los procedimientos de reproducción para pequeñas tiradas anteriormente descritos, como el ozalid o el dorel, o incluso procedimientos especiales, ya sean fotoquímicos (colorkey) o termoquímicos (cromalin). Corresponde al cartógrafo el saber apreciar la oportunidad de este tipo de manipulaciones, así como su repercusión en el precio de coste final del mapa.

III. AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO CARTOGRÁFICO

La aparición de sistemas automáticos en el proceso cartográfico es, sin duda, el acontecimiento más importante y el que más consecuencias ha aportado a la historia de la cartografía, en los últimos decenios. Puede considerarse como operacional desde 1960, aproximadamente,[7] y se perfecciona de día en día con tal rapidez que no será posible señalar aquí más que algunos de sus rasgos generales. Por otra parte, ya hemos visto cómo se incluye en el conjunto de

la expresión gráfica (p. 32-35) y como se sitúa en el proceso informático de los datos (pp. 189-190).

La originalidad de la cartografía automática, comparada con otros modos de tratamiento acelerado de la información, consiste en su capacidad para integrar simultáneamente en el concepto cuantificado puesto en memoria los datos que definen su localización en el espacio, así como las instrucciones necesarias para representarlo. Por tanto, puede abarcar, como la cartografía ordinaria, todo aquello que pueda caracterizarse a la vez mediante una escala cualquiera de valores cuantitativos o cualitativos (z), y mediante una localización geográfica (x, y). S. Rimbert la ha definido como "informática de localización". Este tipo de cartografía comienza por una descripción numérica del espacio, contenida en los bancos de datos, y desemboca en una salida gráfica temática, que puede referirse a informaciones aisladas o a sus correlaciones. Consigna así que la máquina sitúe directamente, sobre un fondo geográfico de referencia trazado a partir de una red memorizada previamente, símbolos simples (puntos, líneas o sombreados), que representan valores observados o calculados. En estas operaciones, se utiliza un equipo (*hardware*) bastante complicado y algunas veces muy especializado. En cuanto al tratamiento propiamente dicho (*software*), utiliza conjuntamente los procesos numéricos característicos de los ordenadores y otros procesos especiales analógicos, de tipo óptico, fotográfico o electrónico, aplicados a la interpretación de mapas, fotografías aéreas y registros multiespectrales.

A) *Adquisición de datos. Periféricos de entrada*

La automatización comienza desde la puesta en *memoria* de los datos, que, una vez reunidos deben traducirse a un código y registrarse sobre un soporte, de modo que puedan ser leídos por la máquina. Estas operaciones constituyen la *adquisición* de la información, a cargo de los órganos *periféricos de entrada (input)* del ordenador (fig. 39). Los datos de entrada incluyen, también codificadas, unas coordenadas de localización: por ejemplo, las coordena-

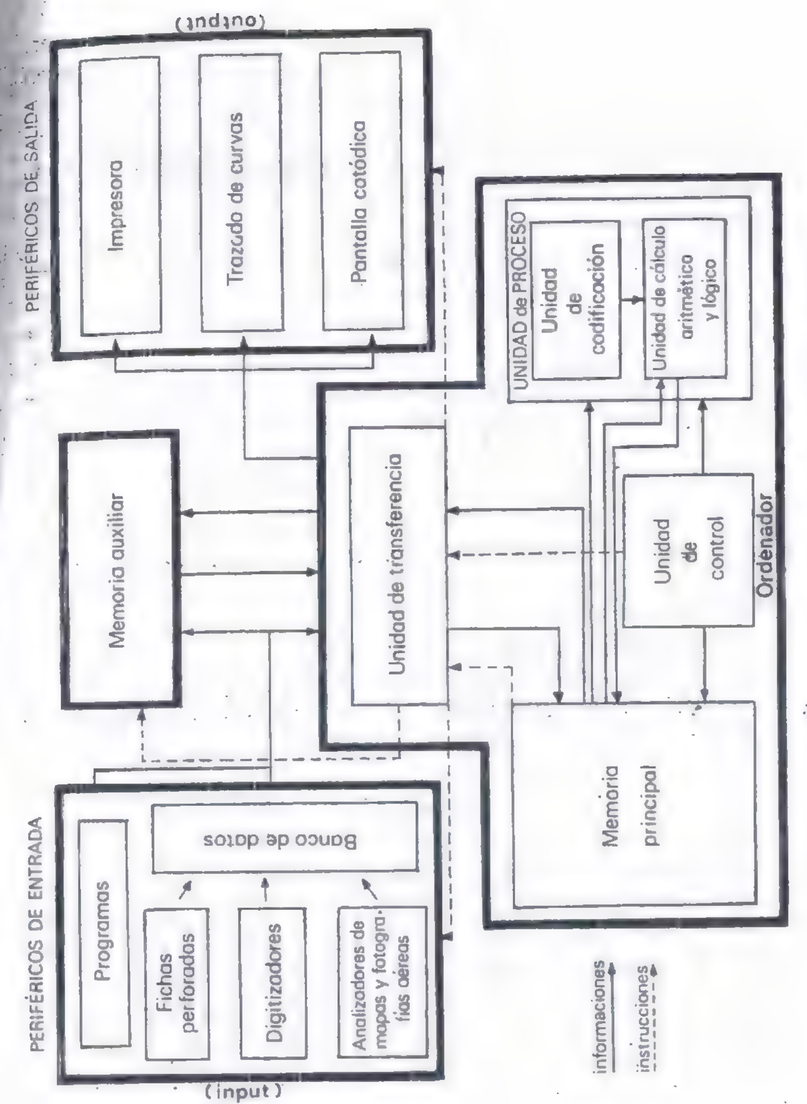


FIG. 39. — *Diagrama de un circuito de cartografía automática*

das, geográficas o Lambert, de un punto de observación, o las coordenadas planas del centro de una de las cuadrículas de una red de referencia, o bien los límites más detallados del perímetro de una zona determinada. Esta codificación puede hacerse por perforación manual o por registro automático sobre un mapa: en este último caso el instrumento empleado es un *convertidor numérico*, o *numerizador*, comúnmente llamado digitizador, que es en esencia un coordinatógrafo capaz de registrar automáticamente las coordenadas de cualquier punto que se señala sobre el mapa. Cuando se trata de una curva o de un contorno envolvente, se digitizan solamente sus puntos característicos, tales como vértices o puntos de inflexión, y se especifica, mediante instrucciones de programa, un cierto orden para la unión rectilínea entre ellos. Otro método consiste en seguir el contorno, registrando automáticamente las coordenadas, a intervalos de tiempo iguales y muy próximos. Según los tipos de lectores que se empleen, el registro se hace en tarjetas o en bandas perforadas, o mejor aún sobre cintas o discos magnéticos. Existen *analizadores* de mapas y de fotografías aéreas que, acoplados a los digitizadores, permiten registrar toda clase de informaciones extraídas de los mapas y fotografías existentes. Se emplean varios métodos, de modo simultáneo o alternativo, que pueden ser semiautomáticos, con intervención de un lector humano, o completamente automáticos. El *método cursivo* o lineal consiste en registrar sucesivamente, uno por uno, todos los signos del mapa a memorizar; permite, por tanto, efectuar operaciones de elección y de separación. El método de *barrido (scanner)* consiste en registrar, línea por línea, sobre toda la superficie del documento, la totalidad de los puntos, cualesquiera que sean. Una operación de elección sólo es posible en este caso si el documento está ya establecido en colores o en modulaciones codificadas; pero siempre se puede prever una selección ulterior. Cuando se trata de fotografía aérea, estos lectores pueden estar conectados a aparatos automáticos para el reconocimiento e interpretación de las texturas y estructuras de los clisés, tales como trazadores de célula fotoeléctrica, o analizadores de barrido electrónico.

B) *Tratamiento de los datos. Calculadoras*

Los órganos centrales de tratamiento son las *calculadoras (ordenadores*, o *computadores)*. Los utilizados en cartografía automática no son distintos de los que se emplean para resolver problemas científicos o de gestión; [8] lo único que cambia son los *algoritmos*, es decir, los métodos de resolución, traducidos en *programas* apropiados. El programa define, mediante instrucciones codificadas, las operaciones a efectuar con unos elementos que proceden de los bancos de datos; uno y otros se registran en la *memoria* del ordenador. La memoria principal, cuyo funcionamiento es muy rápido, se complementa a veces con memorias auxiliares, más lentas pero con mayor capacidad. Una *unidad de control* rige el desarrollo del programa. Bajo este control, otra *unidad de transferencia* asegura el intercambio de información entre el ordenador, los periféricos de entrada, las memorias auxiliares y los periféricos de salida. La *unidad central de proceso* comprende una unidad de codificación y otra de cálculo aritmético y lógico. La unidad de codificación, o *compilador*, recibe de la memoria principal las informaciones en lenguaje codificado, las interpreta y las transmite a la *unidad de cálculo*, que ejecuta sucesivamente, con gran rapidez y en el orden prescrito por la unidad de control, las instrucciones del programa: cálculos de clasificación, de proporciones, de correlaciones, de distribución, establecimiento de relaciones entre direcciones, distancias o superficies, formas y dimensiones de los símbolos a reproducir, determinación de la escala y de la proyección, etc. Todo el programa se desarrolla mediante un diálogo entre la unidad central del proceso y la memoria, dirigido por la unidad de control (fig. 39). Los resultados son finalmente almacenados en memoria, o transmitidos a los órganos periféricos de salida, que son los encargados de traducirlos a un lenguaje que resulte claro para el usuario.

C) *Expresión de los resultados. Periféricos de salida*

Los *periféricos de salida (output)* son muy variados, de acuerdo con los diversos modos de expresión de los resultados (fig. 39). En cartografía automática se utilizan normalmente los siguientes:

— Las *impresoras*, máquinas de escribir que permiten la impresión directa sobre papel de caracteres alfa-numéricos; las más simples, y por ello las menos rápidas, imprimen carácter por carácter; mediante una graduación de los espaciamientos entre caracteres, su superposición y utilizando la facultad de retroceso de la máquina, pueden obtenerse efectos variables de densidad e intensidad; mediante la tabulación se puede también omitir la impresión en unos espacios, o concentrarla en otros. Existen impresoras en las que se han reemplazado los caracteres alfanuméricos por signos puntuales, de formas y dimensiones diferentes.[9] La velocidad de impresión suele ser del orden de 10 a 15 caracteres por segundo, para líneas de 60 a 100 caracteres. En otros dispositivos la impresión se hace línea por línea, previo almacenamiento en memoria de todos los caracteres de una línea, en cada paso; el número de caracteres por línea puede ser entonces hasta 140, y la velocidad de impresión de 1.500 a 1.800 líneas por minuto. Todavía es posible aumentar estos rendimientos utilizando fondos geográficos de referencia previamente impresos, y reservando la impresión exclusivamente para los significados temáticos. Por otra parte, puede mejorarse el trazado poligonal de las líneas curvas mediante una reducción fotográfica. Para los mapas a gran formato, pueden preverse los ensamblajes de hojas. Constituye, como contrapartida, una desventaja la mala calidad con que se obtienen las selecciones, de color, debido a la inestabilidad del papel.

— Los *trazadores de curvas*, desplazan un estilete entintado sobre una hoja de papel; el desplazamiento se efectúa en seis u ocho direcciones privilegiadas, a lo largo de vectores elementales sucesivos, cuyas componentes numéricas se han convertido previamente en instrucciones analógicas. Estos vectores son suficientemente cortos para conseguir un trazado de aspecto continuo. Las interrupciones

de líneas, y la impresión de puntos o trazos aislados, se efectúan mediante instrucciones que ordenan subir o bajar la pluma. Se utilizan también estiletes de distintos espesores, de doble trazo, tintas de diferentes colores, etc. En otros aparatos, llamados *trazadores de tambor*, la pluma se desplaza perpendicularmente a la dirección de desarrollo de una banda de papel; la anchura de la línea es del orden de 0,75 m, y su longitud puede llegar a 50 m. Existen también *mesas trazadoras*, que son una réplica de los coordinatógrafos, donde el estilete se desplaza, en x y en y, sobre una superficie estable de 90 × 150 cm, aproximadamente.

— Las *pantallas catódicas* son sistemas que permiten una visualización gráfica momentánea de los resultados, por desplazamiento de un "spot" controlado por el ordenador mediante valores numéricos en x y en y, transformados luego en valores analógicos de corriente eléctrica. La imagen que aparece sobre la pantalla se mantiene en ella tanto tiempo como sea necesario, gracias a una memoria específicamente destinada a este fin; dicha imagen puede también impresionar una placa o película fotográfica, para su conservación. La ventaja de este sistema (que también admite caracteres alfanuméricos) consiste en ofrecer al operador una representación inmediata y sintética de las informaciones procesadas por el ordenador, y, muy especialmente, en asegurar un diálogo permanente entre el hombre y la máquina, merced a ciertos dispositivos especiales de entrada de información, entre los que el más conocido es el *lápiz óptico*; este lápiz, provisto de una célula, registra las coordenadas del "spot" cuando coincide con su propia punta, por lo que puede utilizarse como detector, pero también como introductor de información gráfica (borrar añadir), de acuerdo con un programa de "seguimiento" previamente establecido.

D) *Cartografía automática y teledetección*

Resulta tentadora la idea de enlazar el automatismo de la teledetección con el de la expresión gráfica. Aunque las investigaciones en

este sentido deban considerarse todavía como experimentales, los resultados conseguidos son ya bastante espectaculares como para augurar un desarrollo rápido y un éxito seguro.

Este éxito dependerá en gran parte del futuro perfeccionamiento de los métodos de fotointerpretación y de los analizadores automáticos que los hacen posibles. Los trabajos más avanzados actualmente se refieren a la fotogrametría. La adquisición de coordenadas, simultáneamente a la restitución clásica, mediante acoplamiento de un estereocomparador con un registrador de coordenadas, permite establecer automáticamente, a partir de la fotografía, un modelo numérico del relieve, que puede utilizarse tanto para el cálculo como para la producción de mapas con curvas de nivel, clinográficos, etc. Basados en principios análogos, funcionan hoy en día sistemas integrados para la producción de mapas topográficos a gran escala, partiendo de fotografías aéreas, según programas agrupados en módulos específicos: curvas, rotulación, redes de referencia, símbolos y leyendas. La realización, cada vez más extendida (sobre todo en urbanismo) de fotomapas o de ortofotoplanos a gran escala, asociada al análisis automático mencionado anteriormente, alimenta ya importantes bancos de datos localizados, que están a la disposición de ingenieros y urbanistas. Naturalmente, como todas las restituciones que proceden de fotografías, estas realizaciones cartográficas deben ser cuidadosamente verificadas y completadas sobre el terreno.

Entre las experiencias más interesantes en cartografía automática, debe considerarse la transcripción directa de los datos numéricos obtenidos por teledetección desde satélites. La experiencia que se realiza en París, bajo la dirección de F. Verger,[10] en el marco del programa FRALIT (*French Atlantic Littoral*), utiliza el sistema de teledetección del satélite americano ERTS[11] (*Earth Resource Technology Satellite*) de la NASA, consistente en un equipo de barrido multiespectral MSS (*Multi-spectral Scanner*) de cuatro canales. Los datos numéricos que corresponden a las diversas radiaciones reflejadas por la superficie terrestre, registrados directamente en bandas magnéticas, se trasladan a discos magnéticos directamente legibles por el ordenador. Las salidas son de tipos diversos, dependiendo de los programas y de los límites impuestos a la concepción

cartográfica (formato, escala, leyendas) por las características de las unidades periféricas; una de ellas consiste en una visualización analítica elemental, monoespectral, de cada uno de los canales, que es producida en monocromía por la impresora; otras combinan los diferentes canales en una cartografía policroma que pretende una representación sintética de los paisajes (plancha 3); se obtienen mediante trazador de curvas en cuatro colores, además del negro, cuyo ajuste está asegurado por el mismo programa. Los resultados, publicados a 1:50.000, son de factura y legibilidad muy satisfactorias. En todo caso, pueden inspirar una investigación conceptual muy interesante sobre la cartografía automática de síntesis.

E) *Cartografía automática y cartografía clásica*

¿Deben considerarse como competitivas la cartografía automática y la cartografía clásica? ¿Se debe pensar, como hacen algunos, que la segunda está destinada a desaparecer ante la primera? Habría que matizar mucho, antes de contestar a estas preguntas.

La gran ventaja de la cartografía automática es la producción rápida de documentos; la máquina puede establecer con extraordinaria celeridad mapas de inventario, conservarlos, confrontarlos, modificarlos y simplificarlos. Sin duda, esta facilidad libera al cartógrafo de muchas tareas mecánicas, en beneficio de la reflexión y la investigación. Además, la posibilidad de almacenar en memoria una gran cantidad de datos pone a disposición del investigador un stock de mapas portenciales, que puede utilizarse directamente o permanecer en forma numérica, como base de cálculos o de simulaciones. En el límite, podría incluso pensarse en no producir nunca mapas en forma gráfica (lo que sería la negación misma de la cartografía), y relegar al cartógrafo al papel de simple compilador y clasificador de datos. Hay quienes han soñado con este futuro, sin preocuparse por la pérdida de contacto con la realidad que acarrearía una tal supresión de todo soporte espacial visualizado. No parece que se haya llegado aún a tanto, ni siquiera que sea deseable alcanzar esta meta.

Sin embargo, la ventaja antes señalada es muy apreciable en la

redacción de algunos documentos condenados a envejecer rápidamente; por ejemplo, en los atlas de geografía económica y humana. La mayor parte de los mapas estadísticos, algunos mapas parciales o temporales, ciertas medidas sobre mapas y, en suma, todo lo que permite responder rápidamente a una demanda de información, puede ser fácil y económicamente tratado de este modo. Frente a los mapas muy cuidados y elaborados, la cartografía automática ofrece un gran número de mapas especializados, limitados a un uso preciso y dibujados muy rápidamente. Pero, incluso sin mencionar el problema de la legibilidad, que no está satisfactoriamente resuelto, hay que admitir que la introducción de los datos en memoria y la elaboración de programas de proceso, casi siempre complicados, necesitan a veces tanto tiempo y dinero como la producción gráfica tradicional. El precio y los retrasos debidos a la producción del *software* pueden, ciertamente, reducirse mucho por el uso de programas auxiliares de rutina y teniendo en cuenta el crecimiento continuo de los bancos de datos. Diremos finalmente, que la máquina sólo trata lo que se le ha suministrado, y que el hombre sigue siendo el único artífice, tanto de la calidad del inventario como de la ordenación, de las combinaciones y de las reducciones propuestas. Existe pues un límite, variable según los temas y los objetivos, que conviene apreciar en cada caso, más allá del cual el empleo de la cartografía automática no es ni necesario ni rentable.

IV. LECTURA Y USO DE LOS MAPAS

A) *El mensaje cartográfico*

En los límites de un marco, dibujado o no, el mapa describe una zona del espacio geográfico, con algunas de sus características cualitativas y (o) cuantitativas. El plano del mapa, constituido por la hoja de papel sobre la que está impreso, está dividido por una red de referencia, que pueden ser la de coordenadas geográficas (en grados centesimales o sexagesimales), o la de coordenadas kilométricas Lambert, o cualquier otra red de proyección, a la que se refieren todos los

puntos del terreno representado. Si, como está recomendado, se indica el sistema de proyección, se conocerán las propiedades de equivalencia, de conformidad o de otro tipo en que se puede confiar. La escala, numérica o gráfica, define la reducción proporcional que existe entre el mapa y el terreno. El mensaje cartográfico es, ante todo, una información sobre la localización y el valor de las distancias y las orientaciones.

Merced a un sistema de símbolos más o menos complicados, el mapa proporciona también información sobre los objetos reales y las formas materiales que existen en el campo estudiado. Algunos de estos símbolos son tan claros, o de uso tan corriente, que pueden comprenderse instintivamente por todos; otros, más sutiles, deben ser explicados o, al menos, presentados en una leyenda completa y racionalmente jerarquizada.

Los símbolos significativos pueden yuxtaponerse y agruparse entre sí, de manera que descubran o sugieran al lector la diversidad de relaciones, visibles o invisibles, que constituyen la esencia misma de los informes geográficos. Estas combinaciones de símbolos no pueden ser arbitrarias; obedecen a ciertas reglas semiológicas, comparables a las del discurso o las de la matemática, que las hacen inteligibles a todo aquel que haya hecho el esfuerzo de aprender este tipo de lenguaje, o de meditar sobre las leyendas. De aquí que el mensaje cartográfico pueda considerarse también como una vía de interpretación y de difusión científicas.

Como mensaje intelectual, y en cierta medida artístico, a la vez que documental,[12] el mapa, que es un sistema lógico, se sitúa entre la adquisición de datos y la transmisión de las conclusiones que el estudio de éstos inspiran. Finalmente, se impone como un instrumento superior de inventario, de reflexión, de investigación y de comunicación del pensamiento sobre los problemas planteados por el espacio geográfico.[13]

B) *Cartografía de inventario, o de referencia. El mapa como medio de información*

Como se ha visto, una de las grandes ventajas del mapa es el constituir una excelente referencia espacial. Por tanto, es fácil utilizarlo como un repertorio gráfico, sobre el cual los hechos pueden localizarse directa y simultáneamente, censarse y, en caso de necesidad, clasificarse. El mapa se convierte entonces en un medio de almacenar la información, y en una fuente de documentación; es decir, en un inventario y en una referencia.

Éste es probablemente el papel más antiguo, e incluso aún hoy el más extendido, de la cartografía. Los mapas topográficos constituyen el mejor ejemplo de lo que decimos, pero también podrían citarse los administrativos o "políticos", los de censo y distribución, o los analíticos de todo tipo. Los objetos o los hechos a representar se levantan directamente sobre el terreno, o a partir de fotografías aéreas, o bien se obtienen de investigaciones bibliográficas o estadísticas. Una vez calificados por sus parámetros de localización (x, y) y de identificación y dimensión (z), pueden registrarse, almacenarse y representarse sobre el mapa por medio de procedimientos gráficos (dibujo; fotografía) o electrónicos (memorias; impresoras y pantallas catódicas).

Estos mapas son, en principio, simples y esencialmente *descriptivos*; no pretenden interpretar ni explicar; se limitan a constatar hechos previamente definidos, y no deben contener nada que no haya sido previamente visto y reconocido. Como representaciones directas e impersonales que son, pueden verificarse y complementarse, y corregirse si es necesario por cualquier investigador de la misma especialidad, con objeto de ponerlos al día, de modo que en todo momento reflejen exactamente la realidad. Este tipo de mapas es poco perfectible, en cuanto a su concepción, pero más apto que cualquier otro para someterse a una normalización de los medios de expresión, y a una automatización generalizada.

C) *Cartografía de investigación, o de experimentación. El tratamiento cartográfico de la información*

Del mismo modo que las matemáticas y otros medios gráficos, la cartografía puede utilizarse con provecho a nivel de razonamiento sobre la información, ya que el mapa es también un instrumento de comparación y una fuente de sugerencias.[14] En efecto, yuxtaponiendo o superponiendo varios mapas, pueden compararse los datos de un problema, investigar sus posibles correlaciones, sostener o desechar hipótesis, delimitar espacios homogéneos, etc. Es posible, por tanto, utilizar el método cartográfico como método de investigación, para progresar racionalmente desde lo conocido hacia lo desconocido, ya sea determinando las componentes desconocidas de una combinación conocida (análisis), ya sea caracterizando una asociación desconocida de hechos conocidos (síntesis).

Estos mapas pueden considerarse como experimentales; su carácter común es el ser *prospectivos*. Su objetivo es resolver un problema mediante la comparación sistemática de mapas de inventario de fenómenos elementales; cada experiencia delata similitudes o contradicciones que, una vez verificadas, se convierten en nuevos datos explicativos, que se introducen inmediatamente en la experiencia siguiente.

Como en cualquier otro método de investigación científica, la intuición y la imaginación creadora son aquí los motores esenciales. El papel de la técnica consiste únicamente en servir adecuadamente a la experiencia, como la vidriería sirve al químico o la electrónica al físico. Estos mapas son ante todo, herramientas de trabajo, y no se destinan a una publicación directa. Por ello, se les concibe en la forma más cómoda, o en la más económica para el experimentador, que no es necesariamente la más clara o la más agradable para el lector.

Dependiendo del fin perseguido y de los medios disponibles, el cartógrafo recurrirá a los procedimientos clásicos o a los informáticos. Es previsible que éstos sustituyan rápidamente a aquéllos en la mayoría de los procesos de investigación, puesto que permiten en

menos tiempo el tratamiento de un volumen considerablemente mayor de indicadores. Todavía será preciso adaptar los métodos de recolección de información a este tratamiento, y referir (como ya se hace en muchos países) el conjunto de informaciones útiles a una "malla" territorial, lo suficientemente densa como para ser significativa.

D) *Cartografía de explicación, o de correlación. La comunicación de resultados*

No es menos útil la cartografía en el momento de difundir los resultados de las investigaciones. Se presenta entonces como un medio de expresión, global y localizado a la vez, de todas las relaciones establecidas mediante el razonamiento y la experimentación, adquiriendo un valor de ilustración o, mejor, de explicación y exposición.

Ante todo, estos mapas deben poderse leer y comprender fácilmente. Son los que necesitan una combinación más íntima de la inteligencia científica del autor, la habilidad del cartógrafo y el cuidado de los realizadores; son también los que reclaman más imaginación y mejor destreza; pero, al mismo tiempo, son los más subjetivos y dependientes de la personalidad de su autor y, con gran diferencia, los más difíciles de normalizar y automatizar. Por todo ello, deberán constituir, durante mucho tiempo aún, el más sólido bastión de la cartografía "clásica".

Lo que caracteriza a este tipo de mapas es que son *correlativos*, es decir, que presentan el fenómeno estudiado en función de sus determinantes y de sus consecuencias. Suelen ser analíticos y sintéticos a la vez, como imágenes de conjunto de un paisaje, un medio o un problema en los que se combinan las interrelaciones entre varias características. Por ejemplo, los mapas geomorfológicos detallados, los de cobertura vegetal, los buenos mapas de geografía regional. Por ello mismo requieren varios niveles de lectura, privilegiados y jerarquizados, que el cartógrafo ha de hacer perceptibles al lector, mediante un empleo correcto de las delicadas reglas de la percepción visual y de los símbolos.

En el límite, podría incluso concebirse que estos mapas, convenientemente tratados, se bastasen a sí mismos, sustituyendo a la exposición escrita, excepto en lo que se refiere simplemente al comentario del propio mapa. En efecto, éste es prácticamente el caso de la mayor parte de los atlas temáticos modernos, que agrupan mapas de análisis y de síntesis a diversas escalas en torno a un tema común, constituyendo una representación gráfica completa de una ciudad, de una región, de una nación, o incluso del mundo entero.

E) *Cartografía de intervención. El mapa como auxiliar de la acción sobre el medio*

Siendo una forma de expresión geográfica, la cartografía encuentra naturalmente un lugar en las aplicaciones de la geografía, y de todas las ciencias del espacio terrestre.[15] Los tres campos de la cartografía temática anteriormente descritos constituyen un solo campo común de realización de mapas, ya sean de tipo especulativo y teórico o de carácter práctico. Debe evitarse, por supuesto, exagerar las diferencias entre una "cartografía fundamental" y una "cartografía aplicada". Esto es válido para cualquier disciplina: todo trabajo "científico" bien llevado conduce a aplicaciones eventuales, y toda investigación "aplicada" aporta datos utilizables en la síntesis. Tanto la cartografía fundamental como la aplicada requieren la misma agudeza en la concepción, el mismo cuidado en la ejecución y la misma claridad en la presentación.

Sin embargo, toda una cartografía puede ser encarada con el exclusivo fin de una aplicación técnica precisa. Éste es el caso, por ejemplo, de la cartografía pedagógica (mapas murales y atlas escolares), de los mapas de carreteras y cartas náuticas, de los mapas "geotécnicos" a gran escala y, más indirectamente, de las atractivas investigaciones sobre cartografía dinámica litoral de F. Verger.[16] Es también el caso de los "modelos" cartográficos, realizados sobre todo en el extranjero, con el fin de verificar *a posteriori* las diferencias entre una acción prospectiva concertada y su realización efectiva.

La originalidad de esta cartografía es fundamentalmente una cuestión de punto de vista y de escala. La elección de los objetos a cartografiar es siempre más precisa, restringida e imperativa que en los mapas ordinarios. Los hechos se seleccionan con un fin bien determinado, y se destinan a resolver un problema práctico claramente limitado. Por otra parte, tanto la escala de prospección como la de presentación se eligen estrictamente en función del uso que se hará del mapa: a nivel de mando, bastará adoptar escalas locales o regionales (1:50.000, 1: 100.000, 1: 250.000), o nacionales (1: 500.000 o 1: 1.000.000). Pero a nivel de ejecución siempre será necesario acudir a las grandes escalas (1: 20.000, 1: 10.000, 1: 5.000, e incluso mayores).

Estos mapas, por estar destinados a personas no especializadas en geografía (ingenieros, hombres de acción o gran público), deben imponerse sobre todo por su *eficacia* y su *rendimiento*, atrayendo, inmediatamente y sin duda posible, la atención del lector hacia las respuestas a las preguntas que él se plantea, mucho más que hacia las razones que las motivan. Por ello, debe dejarse al cartógrafo una gran libertad, y renunciar a una normalización de los medios de expresión, muy difícil de conseguir, por la variedad de problemas a tratar. En cambio, la automatización suele ser posible, e incluso deseable, ya que estos mapas son siempre relativamente simples, aun cuando se obtengan a partir de otros muchos más complicados, y muchas veces proceden directamente de un tratamiento informático de la documentación. Diremos finalmente que deben ir provistos de leyendas muy estudiadas y capaces de proporcionar, como el propio mapa, el máximo servicio en el mínimo tiempo.

F) *Las medidas sobre mapas*

Los progresos del levantamiento, de la redacción, y de la reproducción de mapas inducen al usuario a conceder una gran confianza a las medidas sencillas que tiene necesidad de realizar sobre la hoja publicada: medidas de localización, de orientación, de distancia o de superficie, recuento de objetos, apreciaciones de volúmenes, de separaciones, de relaciones, etc. Del mismo modo, la introducción en los bancos de datos, por medio de digitizadores, de las informaciones numéricas que en ellos figuran, supone un mínimo de confianza en los levantamientos efectuados. Sin embargo, *la cartometría*,[17] que es el arte de efectuar medidas sobre los mapas, nos enseña que el valor de los resultados obtenidos viene limitado por numerosos factores: faltas o errores más o menos inevitables.

Ya en los comienzos del trabajo, muchas imprecisiones dependen de la forma de adquirir los datos. Las redes geodésicas modernas aseguran una precisión de 10 a 50 cm sobre el terreno, lo que representa un error inferior al gráfico a 1: 5.000, y con mayor razón a menores escalas. En las estaciones astronómicas de campaña, el error es más considerable (de 30 a 40 m), y debe ser tenido en cuenta cuando se utilicen mapas de reconocimiento apoyados únicamente en tales determinaciones. Hay que añadir que, si bien las nivelaciones de precisión proporcionan las altitudes al centímetro, las nivelaciones geodésicas indirectas pueden tener errores de varios decímetros, y las barométricas de varios metros. Pero es en la obtención de los restantes valores característicos en z, y especialmente en el de los estadísticos, donde el margen de apreciación es más dudoso y aleatorio.

Otras causas de error se originan en el traslado de los datos al mapa. El error gráfico, que es constante y está comprendido entre 0,1 y 0,3 mm, decrece cuando la escala aumenta. De ser 40 m a 1:200.000, pasa a ser sólo 5 m a 1:25.000, y 1 m a 1:5.000. Por otra parte, el empleo de coordinatógrafos en el trazado de las redes de referencia y en el picado de los puntos, permite reducir este error a la mitad. Pero, inversamente, cuando la escala disminuye, el cartógrafo necesita emplear un mayor número de signos convencionales que, aun cuando estén centrados con mucho cuidado, son cada vez más embarazosos de dibujar, y por ello mismo menos precisos. La generalización es por tanto un notable factor de deformación.

En fotogrametría, la precisión depende tanto de la calidad del aparato restituidor como de la habilidad del operador, de la nitidez de la fotografía y de la complejidad del terreno. En el mejor caso, es del mismo orden que la de los levantamientos sobre el terreno. En la

nivelación, a los errores de levantamiento ya señalados se añaden los de situación planimétrica de los puntos acotados, y muy especialmente los debidos al trazado y a la separación de las curvas de nivel. Así, en las determinaciones altimétricas, la imprecisión aumenta del punto acotado a la curva, de ésta a los puntos situados entre dos curvas, y de las escalas grandes a las pequeñas. Finalmente, ya vimos (pp. 49-52) que no hay sistema de proyección sin deformaciones, aunque es cierto que la mayor parte de ellas pueden calcularse, y que su incidencia en las medidas sobre el mapa disminuye rápidamente cuando la escala aumenta.

Un mapa, aun cuando esté bien elaborado, sufre además otros tipos de deformaciones, antes incluso de que el lector pueda efectuar medidas sobre él. Estos defectos provienen principalmente de las imperfecciones del soporte y de su tratamiento, durante la realización del mapa. Hemos visto ya los diversos inconvenientes de los soportes del dibujo (pp. 240-241), que pueden atenuarse parcialmente adoptando precauciones especiales en su almacenamiento, o en su manipulación en recintos climatizados. Pero incluso el papel de impresión no es rigurosamente inerte; reacciona a las variaciones higrométricas en el taller, a las diferencias de humedad en los cilindros de las máquinas y a las tensiones provocadas por la impresión y el posterior secado de la tinta. Estas variaciones, que pueden llegar a alcanzar varios milímetros, ni son regulares, ni enteramente previsibles, ni semejantes en todas las direcciones, ni exactamente reversibles. Pueden acumularse o compensarse, complican el ajuste en las tiradas a varios colores, y afectan también a las medidas que luego se efectúan sobre el documento. Además, la hoja impresa es inestable después de la impresión, y durante su utilización, aunque es cierto que el empleo de escalas gráficas o de coeficientes correctivos reduce parcialmente las discrepancias.

Finalmente, otras imprecisiones dependen de los instrumentos empleados para efectuar las propias medidas. Cuando se mide una distancia con doble decímetro, compás de puntas o banda de papel, la aproximación está apenas comprendida entre 0,5 y 0,2 mm; si se trata de líneas sinuosas, el empleo del compás, del hilo flexible, o incluso del curvímetro, proporciona precisiones del mismo orden.

Cuando se miden ángulos, el transportador no permite apreciar más allá del cuarto de grado; en rigor, puede aumentarse esta precisión con el uso del cuentahilos. Para la medida de superficies existen métodos gráficos que consisten en descomponer el área a calcular en el mayor número posible de superficies elementales fáciles de medir: cuadrados, rectángulos o triángulos. El método de la pesada, por comparación de los pesos de la superficie total y de la superficie unitaria, es muy aleatorio, a causa de la heterogeneidad de los papeles. Es preferible utilizar el planímetro, a condición de que se efectúe un número suficiente de medidas. Se puede también recurrir al cálculo electrónico, a partir de las coordenadas de los vértices del polígono envolvente, registradas mediante coordinatógrafo.

Todas estas advertencias se deben tener presentes cuando se emprende una serie de medidas sobre mapas. Lo mismo ocurre en toda operación de señalamiento de nuevas posiciones, de signos convencionales o de símbolos sobre un fondo impreso, especialmente si contienen alguna información cuantitativa. No debe exigirse a los mapas más de lo que pueden dar, pero es legítimo esperar de ellos una calidad máxima; por ello, se intentará utilizar siempre la mayor escala posible. Pero deberá huirse de falsas precisiones, y sólo se admitirán aquellos resultados que sean compatibles con la aproximación del documento.

V. A MODO DE CONCLUSIÓN



La utilidad del mapa, tanto en la vida normal como en la actividad científica, no debe ser puesta en duda. Todo el mundo ha visto mapas en la escuela, en los libros, en los atlas, o simplemente colgados de la pared. Gracias a los mapas de carreteras, los folletos turísticos o los planos de ciudades, el gran público moderno está familiarizado con esta forma de expresión. Pero no es tan seguro que se sepa extraer de un mapa toda la sustancia, o incluso simplemente leerlo con el máximo de eficacia, pues nunca se ha planteado la cuestión de aprender a leer sistemáticamente los mapas, como se leen los

libros. Todavía es menos seguro que todos los lectores conozcan la variedad de mapas existente, y sus aplicaciones.

Para muchos usuarios, el mapa sirve sólo para preparar un itinerario o localizar un lugar. Incluso entre los investigadores, muy pocos sienten la necesidad de expresarse por medio de un mapa; menos aún piensan en utilizarlo como medio de tratamiento de su información. Son raros los que sienten vocación de cartógrafo, o deciden estudiar a fondo, para utilizarlos, los múltiples recursos de la cartografía. Esto es consecuencia de una cierta dificultad para la percepción del espacio, de una incapacidad para concebir la exhaustividad en superficie, de la que incluso participan buen número de geógrafos. Es producto también de una cierta desconfianza de los intelectuales, por no decir de un cierto desprecio, frente a lo que ellos consideran como una técnica. Todavía podría citarse como causa la innegable insuficiencia en la enseñanza escolar y universitaria de la cartografía. Pero también hay que reconocer como culpables de este estado de cosas algunas razones históricas, aunque estén hoy sobrepasadas.

Si se exceptúan ciertas relaciones de viajes y algunas raras reflexiones sobre el mundo, la geografía y la cartografía estuvieron durante mucho tiempo incluidas en una rama de las matemáticas o de la astronomía, y aplicadas a la medida y representación del mundo conocido. Es sólo a partir del siglo XIX cuando una cierta geografía se individualiza progresivamente, primero bajo una forma descriptiva, que va haciéndose cada vez más explicativa, pero siempre con una forma de expresión casi exclusivamente literaria. Completamente aislado, el cartógrafo no era todavía más que un fabricante de mapas topográficos, un ilustrador de obras, o un redactor de atlas toponímicos o políticos. Habría que esperar hasta fines del siglo XIX y principios del XX para que los geógrafos, generalizando una práctica ya antigua en otros campos comenzasen a representar, tomando como fondo los mapas topográficos o corográficos, algunos informes cualitativos y cuantitativos, con el fin de mostrar su repartición y sus correlaciones. Así nació, como hemos visto, lo que al principio se llamó cartografía "geográfica", o "especializada", que es lo que hoy conocemos como cartografía "temática", uno de los medios más elocuentes de expresión del geógrafo.

En este nuevo escenario, la diferencia entre el geógrafo y el cartógrafo debía situarse a nivel técnico; el primero analizaría los problemas, elaboraría las síntesis y edificaría las teorías. El segundo sólo sería un intérprete, más o menos hábil y más o menos fiel, que expresaría en forma gráfica las ideas del geógrafo. A decir verdad, esta división sólo pudo prevalecer mientras las técnicas cartográficas no pasaron de ser un oficio artesano, o incluso un arte. Pero el moderno impulso de los procedimientos mecánicos y fotomecánicos, y todavía más la aparición del ordenador y de la cartografía automática, la han hecho imposible. Por una parte, el dibujo, los grafismos, la reproducción y la difusión de los mapas son cada día más simples o, al menos, más fáciles. Por otra, la cartografía automática se ha revelado como un notable y flexible útil de trabajo, a la vez que como un medio muy eficaz de comunicación, en el progreso general de las técnicas informáticas.

Desde ahora en adelante, y en su propio interés, el geógrafo, considerado en el más amplio sentido como observador de la superficie terrestre, debe aprender la práctica de la cartografía, si no quiere dejarse sobrepasar, emplearla según sus necesidades, e incluso adaptar a ella, en parte, sus métodos de pensamiento e investigación.

Entendida de este modo, la inclusión de la cartografía en el trabajo geográfico toma una nueva dimensión. El mapa deja de ser una simple ilustración, para convertirse en un medio de almacenar y tratar una cierta documentación sobre el espacio, que muy a menudo obliga a repensar y a revisar la metodología empleada. En efecto, el mapa no puede limitarse a lo aproximado, ni a lo discontinuo; se ha insistido a veces sobre su rigor lógico, que le emparenta con el razonamiento matemático. El mapa no soporta espacios vacíos: tiene que cubrir toda la extensión, y por tanto forzar el examen hasta en sus menores detalles, a las dimensiones de la escala, por supuesto. Pero el mapa es al mismo tiempo una simplificación: integra datos muy diversos, que luego reduce, mediante una serie de operaciones gráficas, a una expresión simbólica utilizable, a su vez, en otros problemas. De este modo, muchos inventarios, muchas hipótesis y muchas teorías son constantemente puestos en duda por la actuación del cartógrafo.

De esta convergencia entre el trabajo geográfico y el cartográfico, debería nacer una nueva generación de investigadores, que estarían menos inclinados a evadirse del espacio concreto y al mismo tiempo mejor armados para encerrarlo en una formulación lógica. Sus exigencias y su manera de hacer serían capaces de renovar la investigación en geografía. Al mismo tiempo, su modo de expresión, eficaz y rápido, haría menos necesaria la redacción de textos demasiado extensos. Algunos podrán deplorar por anticipado este previsible retroceso de la expresión puramente literaria; pero acaso sea imposible impedirlo; además, el conocimiento geográfico ganaría con ello en rigor y objetividad. Por otra parte, el geógrafo (esta vez entendido en el sentido estricto del término) encontraría así el medio más seguro, y quizás el único, para preservar la originalidad de su disciplina, y colocarla en el lugar que le corresponde, en el moderno concierto de las investigaciones fundamentales y aplicadas.

NOTAS

1. Véase en pp. 151 a 157 lo que se dijo sobre este tema, al tratar de los mapas topográficos.
2. Institut Géografique National, *Le tracé sur couche et ses applications*, Nota técnica n.º 2, Paris, 1962.
3. Ver, más atrás, pp. 95-96.
4. Ver, más atrás, pp. 102-106.
5. G. Martín, *L'imprimerie*, Paris, PUF, colección "Que sais-je?", 1971; R. Augé, *L'imprimerie, notions techniques sur les procédés d'impresion*, Paris, Ed. Artisanat moderne, 1962.
6. Para las reproducciones en cuatricromía, se utilizan en la industria baterías de cuatro rotativas en serie, llamadas "máquinas de cuatro colores".
7. W. R. Tobler, "Automation and cartography", *Geogr. Review*, 1959, pp. 536-544.
8. Véase J. H. Raymond, *Les principes des ordinateurs*, Paris, PUF, 1969, y J.-P. Menadier, *Structure et fonctionnement des ordinateurs*, Paris, Larousse, 1971.
9. El procedimiento Bertin-Serti (1965) emplea una máquina de escribir eléctrica IBM, cuyos caracteres tipográficos se han reemplazado por puntos de 15 diámetros diferentes.
10. En el laboratorio de geomorfología de la Escuela práctica de Altos Estudios, con el concurso del Centro interregional de cálculo electrónico (CIRCE) de Orsay, y del terminal pesado de la Escuela normal superior de Montrouge. Véase C. Cazabat, R. Demathieu, J. Dupuis y F. Verger, "Le programme Fralit. Télédétection par le satellite ERTS-A, du littoral oceanique de la France" *Bull. d'inf. de l'IGN*, n.º 19, sept., 1972; y D.-J. David, J. Deries y F. Verger, "Cartographie automatique des marais et wadden à partir des données multi-spectrales d'ERTS-I", *Mem. lab. géomorph. de l'EPHE*, 1974.

11. El 23 de julio de 1972 la NASA puso en órbita el primer satélite para estudio de recursos naturales, que se denominó primero ERST (Earth Resources Technology Satellite) y algún tiempo después LANDSAT/1. Actualmente están en órbita los LANDSAT/2 y 3.

Estos satélites son de órbita heliosincrona, casi polar, y altitud media de 920 km. El mismo punto de la Tierra se observa cada 18 días. La toma de imágenes sobre la Península Ibérica tiene lugar entre las 9.30 y las 10.30 horas, hora solar.

Los sensores del LANDSAT/3 son:

MSS (analizador de barrido multibanda) resolución 80 m.

Bandas 4 (verde) 0.5 – 0.6 µm
5 (rojo) 0.6 – 0.7 µm
6 (IR) 0.7 – 0.8 µm
7 (IR) 0.8 – 1.1 µm

RBV (Cámaras de video) resolución 40 m.

Banda espectral: una (0.50 – 0.75 µm)

Tanto de MSS como de RBV puede obtenerse información digital en cintas CCTs (cintas magnéticas compatibles con ordenador) o imágenes fotográficas.

Obtención de imágenes LANDSAT en España en: EARTHNET, NPOC ESPAÑOL, CONIE. Paseo del Pintor Rosales, 34 - Madrid-8.

12. S. Rimbert, *Leçons de cartographie thématique*, *op. cit.*
13. F. Joly, "Place de la cartographie dans le travail géographique", en *La pensée géographique française*, obra dedicada a A. Meynier, Presses Univ. de Bret., 1972, pp. 143-154.
14. P. Claval y J.-C. Wieber, "La cartographie thématique comme méthode de recherche", *Cah. de géogr. de Besançon*, n.os 18 y 19, 1969.
15. Debe recordarse que, fuera del espacio terrestre, la cartografía interviene también en la representación de otros espacios: mapas celestes, mapas del Sol, mapas de los planetas; los croquis de espacios microscópicos son también mapas, de alguna manera.
16. F. Verger, "L'expression cartographique de la dynamique littorale", *Mém. lab. géomorph. de l'EPHE*, 1971.
17. A. Libault, *Les mesures sur les cartes et leur incertitude*, Paris, Ed. géogr. de France, 1961; y también H. Boesch y H. Kishimoto, *Accuracy of cartometric data*, Zürich, Geogr. Instit. der Universität, 1966.

BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL

1948 Raisz, E., *General cartography*, McGraw-Hill, Nueva York.

1952 Monkhouse, F. J. y H. R. Wilkinson, *Maps and diagrams*, Methuen, Londres.

Robinson, A., *The look of maps*, Univ. of Wisconsin Press, Madison.

1954 Bormann, W., *Allgemeine Kartenkunde*, Lahr/Schwarzwald.

1957 Reignier, F., *Les systèmes de projection et leurs applications*, IGN, Paris.

1962 Brunet, R., *Le croquis de géographie régionale et économique*, SEDES, Paris.

Libault, A., *La cartographie*, PUF, Col. "Que sais-je?", Paris, 1966².

1964 De Dainville, F., *Le langage des géographes*, Picard, Paris.

Rimbert, S., *Cartes et graphiques*, SEDES, Paris.

1966 Arnberger, E., *Handbuch der Thematischen Kartographie*, F. Deuticke, Viena.

Bonacker, W., *Kartenmacher aller Lände und Zeiten*, A. Hiersemann, Stuttgart.

1967 Bertin, J., *Sémiologie graphique*, Mouton-Gauthier-Villars, París, 1973².

Salichtchev, K., *Einführung in die Kartographie*, H. Haack, Leipzig.

1968 Rimbert, S., *Leçons de cartographie thématique*, SEDES, Paris.

1969 Dickinson, G. C., *Maps and air photographs*, Arnold, Londres.

Look, C. B. M., *Modern maps and atlases*, Clive Bingley, Londres.

1970 "Glosaire français de cartographie", *Bull. Comité fr. de Cartogr.*, Paris, n.° 46.

1972 Carré, J., *Lecture et exploitation des photographies aériennes*, 2 vols., Eyrolles, Paris.

Cuenin, R., *Cartographie générale*, 2 vols., Eyrolles, Paris.

1975 Bonin, S., *Initiation à la graphique*, EPI, París.
"Rapport national sur l'automatisation de la cartographie en France", *Bull. Comité fr. de Cartogr.*, Paris, n.º 62 (1974) y n.º 63 (1975).
1976 Cauvin, C. y S. Rimbert, *La lecture numérique des cartes thématiques*, Éd. Universitaires, Friburgo.

APÉNDICE I*

LA CARTOGRAFÍA EN ESPAÑA

1. BOSQUEJO HISTÓRICO

La historia de la cartografía española realmente arranca de finales del siglo XIII con la aparición de los primeros portulanos. En siglos anteriores, el estancamiento de los conocimientos geográficos, trajo consigo multitud de errores, consecuencia de falsas interpretaciones, reduciéndose la cartografía a esquemas o diagramas que procuraban estar de acuerdo con la teología cristiana más ortodoxa. Como ejemplo citaremos: los mapas de T en O de San Isidoro de Sevilla y los Beatos.

De los siglos XIV, XV y XVI se conservan en nuestros archivos y cartotecas (Servicio Geográfico del Ejército, Servicio Histórico Militar, Archivo Histórico Nacional, Archivo de Indias, Simancas, Biblioteca Nacional y Museo Naval), una gran variedad de portulanos, mapas y atlas, pero sólo haremos mención de los siguientes: el Atlas Catalán (1375-1377), el Mapa de Juan de la Cosa (1500) y el Padrón Real de la Casa de Contratación de Sevilla (1508).

Atlas Catalán

Es la obra más bella y completa de la cartografía del siglo XIV. Fue hecho por los cartógrafos mallorquines Abraham y Yafuda Cresques por en-

* Los apéndices I y II han sido redactados por Rodolfo Núñez de las Cuevas, Dr. Ingeniero Geógrafo y Catedrático de Representación Cartográfica de la E.U.I.T.T., Universidad Politécnica de Madrid.

cargo de D. Juan, heredero del trono de Aragón, quien se lo regaló a Carlos VI de Francia en 1381. Está formado por seis hojas de pergamino de 64 × 49 cm. Las dos primeras láminas constituyen un compendio de los conocimientos y creencias de aquellos tiempos en Cosmografía y Astrología, y las siguientes constituyen la carta propiamente dicha. En este Atlas aparece por primera vez la rosa de los vientos. La distancia entre dos puntos de la escala lineal, representada en la misma lámina, equivale a dos millas portulanas, es decir a 11,66 km distancia muy cercana a la "legua catalana", con lo que la escala viene a ser de 1/5.750.000.

El estilo de las cartas es el de los portulanos, pero a diferencia con estos últimos, que mostraban sólo la línea de costa y los puntos que se encontraban en la misma, el Atlas Catalán recoge una información muy amplia de los continentes, incluyendo ciudades y montañas, así como notas aclaratorias e ilustraciones en color. Se conserva en la Biblioteca Nacional de París.

Mapa de Juan de la Cosa

Se considera como el primer mapa del Nuevo Mundo. Está fechado en 1500, pero se le hicieron más tarde algunas adiciones. Juan de la Cosa fue un experto navegante, que acompañó a Colón en su segundo viaje, he hizo un trabajo cartográfico de gran valor.

El mapa se extiende en longitud, desde el Ganges hasta las costas de América, y en latitud, desde la península escandinava hasta el sur de África.

Tiene el estilo de las cartas náuticas de la época, con líneas de dirección y rosas de los vientos. Figuran los descubrimientos realizados por los españoles, en las Indias Occidentales, y en las costas del nordeste de América del Sur. Las Bahamas están representadas con exactitud, la Española y Cuba están situadas muy al norte del Tropico, casi con 12° de error; mientras que el error en longitud, entre la costa de la Península Ibérica y la Española, es sólo de 3°. La costa de África hasta el cabo de Buena Esperanza esta muy bien trazada, no así la costa oriental. El mapa tiene unas dimensiones de 180 × 96 cm y se encuentra actualmente en el Museo Naval de Madrid.

Padrón Real

Creada en 1503 la Casa de Contratación de Sevilla, en 1508 se ordenó formar una carta de grandes dimensiones del mundo conocido, a la que se denominó Padron Real, donde pilotos y navegantes, al volver de sus expediciones, dibujaban los itinerarios recorridos y añadian, sus informes y descubrimientos. Del Padrón Real no se hicieron copias, ya que estaba prohibido, y el original no llegó a nuestros días. No obstante, varios de los cartógrafos, que trabajaron para la Casa de Contratación, recogieron información del Padrón Real en sus mapas, como lo hizo Diego Rivero. Del análisis de sus cartas puede deducirse que el "Padrón Real" fue la mayor aportación de España a la formación del mapa del Mundo. En la Casa de Contratación se hicieron estudios geográficos, y se crearon nuevas proyecciones para las cartas de navegación, adelantándose en 40 años a Mercator (Garcia Torreño y Alonso de Santa Cruz).

Mientras los españoles andaban preocupados con el descubrimiento del Nuevo Mundo, los estudios geográficos y la formación de mapas del territorio peninsular no alcanzaba el mínimo deseable para la época. Hasta el reinado de Felipe II (1556-1598) no podemos decir que se hiciese un esfuerzo para formar una buena carta de conjunto de toda la Península. Por orden suya se hacen las "Relaciones histórico geográficas de los pueblos de España" y el notable Cosmógrafo Pedro Esquivel recibe el encargo de levantar un mapa de toda la Península denominado "Atlas topográfico de España" (se conserva en la Biblioteca del Monasterio del Escorial). Para la formación del Atlas, Esquivel tomó posiblemente como base las citadas "Relaciones" y comenzó su trabajo empleando el sistema de triangulación, explicado por Juan Müller y utilizado al mismo tiempo en Baviera. El mapa de Esquivel está constituido por 42 hojas en 21 mapas, a escala aproximada de 1:350.000.

En el siglo XVII debemos destacar a dos científicos portugueses que trabajaron para la Corona de España: Juan Bautista Labaña y Pedro Teixeira. El primero, es autor de un mapa de Aragón, que es sin duda el más perfecto levantado en su época, por el gran trabajo de campo realizado y la precisión conseguida. Pedro Teixeira hizo un magnífico plano de Madrid y la "Descripción de las Costas y puertos de España".

En el siglo XVIII, Felipe V impulsó los estudios geográficos, y en 1739 encargó a los jesuitas Martínez y de la Vega un mapa general de España. El manuscrito sin terminar, conservado en la Real

Sociedad Geográfica de Madrid, se titula "Exposición de las operaciones geográficas hechas por Orden del Rey N.S. Felipe V en todas las Audiencias Reales situadas entre los límites de Francia y Portugal".

En 1752 el marqués de la Ensenada envió a París a Tomás López, y a su regreso, en 1760, como jefe del Gabinete Geográfico de la Secretaria de Estado, dibujó y grabó más de 260 mapas. Estos mapas, aunque adolecen de grandes inexactitudes y errores, debido al método de trabajo utilizado, constituyen una valiosa aportación al conocimiento de nuestro territorio. Contrastando con los trabajos de López surge la obra, de extraordinario valor científico, de Vicente Tofiño que levantó las cartas de nuestras costas y publicó el "Atlas Marítimo de España". Los progresos para llegar a formar un Mapa Nacional fueron escasos a pesar de los esfuerzos realizados en este sentido por los ilustres marinos Jorge Juan y Bauzá.

En 1850 Pascual Madoz finaliza la publicación del "Diccionario Geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de Ultramar" que constituye, sin duda, la obra geográfica más importante de la primera mitad del siglo XIX. Con Madoz colabora Francisco Coello quien, entre 1848 y 1870, publica el "Atlas de España y posesiones de Ultramar". Es Coello una de las figuras más importantes de la cartografía del siglo XIX y sus mapas, casi todos a escala 1/200.000, formados a partir de información muy superior a la de López, son ejemplo de buena cartografía.

Domingo Fontán, entre 1818 y 1834, levantó a sus expensas, la Carta Geométrica de Galicia a escala 1/100.000 en 12 hojas. Este mapa sorprende por su claridad, detalle y precisión; y es el primero que se publica en España, basado en una triangulación geodésica, de acuerdo con las experiencias cartográficas de Francia ("Carta de Cassini" o "Carta de la Academia" a escala 1/86.400, finalizada en 1789) y de Gran Bretaña (mapa a escala 1/63.600, iniciado en 1791 por el Ordenance Survey).

Por fin, el Real Decreto de 11 de enero de 1853 ordena la formación de un Mapa Topográfico. Se inician los trabajos geodésicos, y el entonces comandante Ibáñez de Ibero, fundador más tarde del Instituto Geográfico, mide en 1858 la base central de Madridejos.

El 12 de septiembre de 1870 se crea el Instituto Geográfico y en 1875 se publica la primera hoja del Mapa Topográfico Nacional de España a escala 1/50.000, que se finalizó en 1968 con la edición de las tres hojas correspondientes a la isla de La Palma.

2. Mapa Topográfico Nacional del Instituto Geográfico

El Mapa Topográfico Nacional en escala 1/50.000 es la publicación cartográfica más importante editada por el Instituto Geográfico de España, es el mapa base de toda la cartografía derivada (escalas 1/100.000, 1/200.000, 1/500.000 y 1/1.000.000) y constituye el documento fundamental para los estudios geográficos, militares y de recursos naturales.

La estructura del Mapa la proporciona la red geodésica fundamental, formada por diez grandes cadenas de triangulación que corren sensiblemente a lo largo de meridianos, paralelos y costas. Forman parte también de la red: la figura de enlace de Baleares con la Península, los grandes cuadriláteros que ligan nuestra costa sur con Argelia y Marruecos, y la cadena que enlaza, a través del Estrecho, con la red geodésica marroquí.

Las Canarias poseen una red fundamental propia, que liga las islas entre sí y con el continente africano. Los espacios entre cadenas están cubiertos por el primer orden complementario. La red de primer orden la componen, en total, 573 vértices, y la longitud promedio de sus lados es de 40 kilómetros. Se finalizó la observación en 1915. El punto fundamental o *datum* de nuestra red lo constituye el Observatorio Astronómico de Madrid, cuyo meridiano se utilizó como origen de longitudes.

La escala la proporcionó la base central de Madridejos, de una longitud de 14.662.887 metros, reducida al nivel del mar. Posteriormente se reforzó la red con la medición de otras bases adicionales.

La red de segundo orden, con lados entre 10 y 25 kilómetros, está formada por 2.000 vértices y se finalizó de observar en 1924; y la de tercer orden, formada por 20.000 vértices, cuyos lados miden de 5 a 10 kilómetros, se finalizó de observar en 1930.

Como estaciones astronómicas, además del punto fundamental, figuran en la red, el Observatorio Astronómico de la Marina en San Fernando (Cádiz), así como 22 estaciones más (latitud, longitud y azimut). La orientación de partida fue el azimut Madrid-Hierro.

El cálculo de coordenadas geográficas de los vértices se efectuó partiendo del datum Madrid, tomando como superficie de referencia el elipsoide de Struve (1860). Posteriormente, en 1950, se llevó a cabo una compensación con las restantes redes geodésicas de Europa Occidental. Se adoptó: el datum Postdam; Greenwich como meridiano origen de longitudes, y como elipsoide, el internacional (Hayford, Madrid, 1924).

Actualmente se están reconstruyendo gran parte de las señales geodésicas, de las redes de primer orden y orden inferior, con el fin de mejorar la precisión.

La altimetría de nuestro Mapa se obtiene a partir de la red de nivelaciones, que está enlazada con Francia por siete puntos (JEF) y con Portugal por ocho (JEP). El número de señales es de 11.650 y la fundamental de la red es la N.P. 1, situada en el Ayuntamiento de Alicante, con una altitud de 3,4095 metros sobre el nivel medio del mar, obtenido en el período de junio de 1870 a junio de 1872 en aquel puerto.

La compensación de la red de nivelaciones de alta precisión se ha realizado utilizando las cotas geopotenciales, deducidas de los desniveles naturales y observaciones de gravedad obtenidas a lo largo de las líneas. La longitud de la red es superior a los 12.000 kilómetros.

Los trabajos de nivelación de precisión se iniciaron en 1872 y finalizaron en 1924. En 1925, se comenzaron los de la red de nivelaciones de alta precisión. En esta red, están enlazadas las estaciones mareográficas de Alicante, Cartegena, Ameria, Cádiz, La Coruña, Vigo y Santander. Actualmente se está reobservando de nuevo la red, para conseguir una mayor precisión.

El Mapa a escala 1/50.000 está formado por 1.106 hojas, de las que 1.036 corresponden a la Península, 26 a las islas Baleares y 42 a las Canarias, una al pequeño archipiélago de las islas Columbretes y otra a la isla de Alborán. La proyección adoptada fue la poliédrica, y las hojas, por lo tanto, son trapezoidales. Las dimensiones son: 20′ de base en el sentido de los paralelos por 10′ de altura en el sentido de los meridianos. Los desarrollos de los arcos de meridiano y de paralelo nos dan los valores necesarios para construir el recuador de las hojas.

Para la representación del relieve se adoptaron curvas de nivel con equidistancia de 20 metros. Dado lo accidentado de nuestro país, la equidistancia fija, ha sido un gran inconveniente para una correcta representación, ya que, en muchas zonas sin movimiento, las curvas intermedias nos habrían ayudado a conocer mejor el terreno, mientras que en zona de montaña las curvas se juntan mucho y, la información resulta confusa.

El mapa se publica a cinco colores (rojo, azul, negro, siena y verde). El negro, se utiliza para: el marco de la hoja, número, nombre, escala, rotulación, líneas férreas, caminos, cañadas, fronteras, límites provinciales y de términos municipales, sembrados y viñedos. En siena, se representan las curvas de nivel y cotas. En rojo, se representan ciudades, pueblos, casas diseminadas, carreteras y obras de fábrica. El azul, se emplea para la hidrografía y su rotulación, y el verde, para los cultivos y la vegetación.

El desarrollo económico de España así como los planes de ordenación del territorio exigían, como cartografía de base, un nuevo mapa a mayor escala, más preciso y levantado totalmente por fotogrametría. En 1975, se inició el Mapa Topográfico Nacional a escala 1/25.000. Los vuelos se hacen a escala 1:30.000, y se realizan los trabajos de apoyo, campo y gabinete para la publicación de 100 hojas anuales. Esta cifra aumentará a 200 hojas en los próximos años. El mapa se forma en proyección UTM, que es la proyección oficial de toda la cartografía topográfica española. Su calidad, es la de la cartografía europea a esa escala; es de fácil lectura e interpretación, y se imprime en cinco colores. Cada hoja del Mapa 1:50.000 se divide en cuatro del 1:25.000 (plancha 5). Se han publicado alrededor de 250 hojas y están formadas las *minutas* de más de 1.000 hojas de las 4.000 que constituyen la serie.

3. Centros cartográficos españoles

Los centros responsables de la cartografía oficial en España son:

Instituto Geográfico Nacional (IGN)
Servicio Geográfico del Ejército (SGE)
Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM)
Centro Cartográfico y Fotográfico del Aire

Hay otros centros que, además de sus trabajos específicos, también forman o publican cartografía:

Instituto Geológico y Minero de España (IGME)
Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA)
Instituto de Investigaciones Agrarias (INIA)
Instituto de Conservación de la Naturaleza (ICONA)
Dirección General de Carreteras
Dirección General de Obras Hidráulicas
Dirección General de Producción Agraria
Instituto Nacional de Meteorología
Instituto Español de Oceanografía
Instituto de Edafología y Biología Vegental del C.S.I.C.
Instituto de Geografía Aplicada del C.S.I.C.

Todos estos centros forman y publican cartografía topográfica o temática de su especialidad.

4. Publicaciones cartográficas españolas

A) *El Instituto Geográfico Nacional*

Se creó en 1870. Publica la cartografía base a escalas 1/25.000 y 1/50.000 así como la derivada a escalas 1/200.000, 1/500.000 y 1/1.000.000. También edita: la cartografía temática relacionada con

los trabajos geofísicos del Instituto; el Atlas Nacional de España y la cartografía base del Catastro Topográfico Parcelario a escala 1/1000, 1/2000 o 1/5000, dependiendo la escala del grado de parcelación.

B) *El Servicio Geográfico del Ejército*

Su origen se remonta al año 1810 cuando se creó el Depósito de Guerra.

Uno de los primeros trabajos que realizó fue el mapa 1/500.000 (1865), primer mapa moderno que cubrió todo el territorio nacional.

Las publicaciones actuales del S.G.E. son:

Mapa militar a escala 1:800.000	Serie 8.C
Mapa militar a escala 1:400.000	Serie 4.C
Mapa militar a escala 1:200.000	Serie 2.C
Mapa militar a escala 1:100.000	Serie C
Mapa militar a escala 1:50.000	Serie L
Mapa militar a escala 1:25.000	Serie 5V

Edita también el S.G.E. cartografía local y mapas especiales. Toda la cartografía se forma en proyección UTM.

C) *El Instituto Hidrográfico de la Marina*

Publica todas las cartas hidrográficas que utilizan las marinas de guerra, mercante, de pesca y deportiva. Las series más importantes son:

Portulanos o cartas de puertos, a escala 1/25.000
Cartas de aproche (o entrada de puertos), a varias escalas
Cartas de navegación costera, a escala entre 1/50.000 y 1/200.000
Cartas de arrumbamiento, a escala entre 1/200.000 y 1/300.000
Cartas generales, entre 1/300.000 y 1/30.000.000.

Todas las cartas se forman en proyección Mercator, representando: las costas; los fondos marinos con curvas batimétricas, y la naturaleza de los fondos.

D) *El Centro Cartográfico y Fotográfico del Aire*

Se fundó en 1951 y su misión es realizar los vuelos fotogramétricos necesarios para las Fuerzas Armadas, así como levantar mapas a gran escala, de aeropuertos, y otras zonas de interés militar. También forma y publica: el Mapa Aeronáutico de España a escala 1:1.000.000; las cartas de aproximación y aterrizaje de los aeródromos españoles y toda cartografía necesaria para la navegación aérea a distintas escalas.

E) *Cartografía publicada por otros centros*

El Instituto Geológico publica a escala 1/50.000 la Cartografía Geológica correspondiente al Plan MAGNA (Mapa Geológico Nacional); así como otra cartografía geológica, litológica, metalogénica y sismotectónica a menor escala.

El Instituto de Geografía Aplicada del C.S.I.C. ha publicado una serie de mapas de densidad de población; así como el "Atlas e Indices de los Términos Municipales de España".

El Instituto Nacional de Edafología publica el Mapa de Suelos de España a 1/1.000.000; así como mapas edafológicos provinciales a escala 1/200.000. Actualmente prepara el Mapa de Suelos a escala 1/500.000.

La Dirección General de Producción Agraria forma y publica los mapas, a escala 1/50.000, de Cultivos y Aprovechamientos y de Clases Agrológicas de todo el territorio nacional.

El actual proceso autonómico del Estado español ha incrementado la demanda de cartografía, necesaria para la ordenación del territorio a nivel regional. En este sentido, se están realizando grandes esfuerzos en Cataluña, País Valenciano, Galicia, Islas Canarias y País Vasco.

APÉNDICE II

BOSQUEJO SOBRE LA CARTOGRAFÍA DE LOS ESTADOS AMERICANOS *

A finales del siglo XIX, los Gobiernos americanos, reconociendo la necesidad de disponer de una cartografía que representase sus territorios, empezaron a crear servicios topográficos nacionales. Es a partir de la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), cuando los Estados americanos decidieron aumentar la producción de la cartografía base, iniciándose una activa cooperación interamericana en este aspecto.

Los dos hechos más notables son: la creación de la Comisión de Cartografía, en el seno del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) en 1941; y la fundación, por el Gobierno de los Estados Unidos en 1946, del Servicio Geodésico Interamericano (Inter-American Geodetic Servey - IAGS).

La Comisión de Cartografía del IPGH se creó, "para facilitar y acelerar el progreso de la cartografía en los Estados del Hemisferio Occidental, conforme a sus necesidades en materia de mapas", y el Servicio Interamericano de Geodesia se creó, para ayudar a las otras repúblicas americanas en sus trabajos cartográficos de base, por recomendación de la Comisión de Cartografía del IPGH. El IAGS es un organismo de ejecución, y dispone del personal técnico y equipo científico necesario para cumplir sus misiones. Lleva a cabo un pro-

* Fuentes de información:
- *World Cartography*, vol. XIV, United Nations, Nueva York, 1976.
- *Primera Conferencia Cartográfica Regional de las Naciones Unidas para América* (Panamá, 8-16 marzo 1976), Nueva York, 1979.
- *Publicaciones y catálogos de diversos centros cartográficos nacionales.*

grama de asistencia tecnica, de acuerdo con cada uno de los países interesados, y su base y escuelas están en la zona del canal de Panamá. El IAGS mantiene una oficina auxiliar en la capital de cada uno de Estados participantes y tiene como principales misiones:

a) Establecer una red geodésica de referencia para el continente suramericano y unirla con la red geodésica de referencia norteamericana.
b) Determinar una red altimétrica de referencia para el conjunto de Iberoamérica.
c) Formar los mapas topográficos y las cartas náuticas y aeronáuticas, utilizando la fotografía aérea y las redes geodésicas y altimétrica que se establezcan.
d) Normalizar los métodos y la producción cartográfica.

El IAGS proporciona consejeros e instructores que colaboran, en la elaboración del programa internacional común, y en los programas particulares de cada nación.

1. La cartografía en Argentina

Los dos grandes centros cartográficos de Argentina son el Instituto Geográfico Militar (IGM) y el Servicio Hidrográfico de la Marina. El primero de estos dos centros tiene su origen en 1879 al crearse la Oficina Geográfica Militar. El Instituto realiza: los levantamientos geodésicos de base; levantamientos de cartografía a varias escalas; levantamientos preliminares para el trazado de fronteras, y el estudio de los límites. En 1882, el Instituto Argentino de Geografía publicó el "Atlas de la República Argentina" que contiene: veintiocho mapas que varían desde la escala 1/1.000.000 al 1/8.000.000; un plano de Buenos Aires al 1/50.000, y un mapa de América del Sur a 1/15.000.000. Este Atlas, pertenece a la fase primitiva de la cartografía argentina y es anterior a los trabajos que inició el Instituto Geográfico Militar desde su creación.

En 1906 se midió la base geodésica de Campo de Mayo, y en 1909 se comenzó la triangulación de primer orden.

Desde 1925 el IGM adoptó el elipsoide internacional en lugar del elipsoide de Bessel. Entre las realizaciones geodésicas importantes, deben destacarse: la determinación en 1927 de la diferencia de longitud entre Potsdam y Buenos Aires, y la medida de un arco de meridiano iniciado en 1938, a lo largo del meridiano de 64°.

Un acontecimiento importante para la cartografía argentina tuvo lugar en 1942-1943, cuando fue votada la "Ley relativa a los mapas y planos", destinada a organizar la ejecución sistemática y racional de los trabajos geodésicos y topográficos en todo el país. Esta ley entró en vigor en 1944.

A partir de esta fecha, los trabajos geodésicos pueden considerarse como trabajos de alta precisión útiles a la investigación científica internacional.

En 1927 se adoptó el sistema de proyección Gauss-Krüger y se introdujeron mapas "cuadrangulares".

Las escalas empleadas en la mayor parte de los trabajos son: 1/25.000, 1/50.000, y 1/100.000. La "Carta de la República Argentina" se publica a escalas: 1/50.000, 1/100.000, y 1/250.000. El 1/50.000 tiene formato de 10′ × 15′; el territorio quedará cubierto por 7065 hojas y en 1980 estaba finalizada la publicación de una tercera parte de las hojas.

El IGM es un centro cartográfico, de gran solvencia geodésica y cartográfica, muy conocido por sus publicaciones y trabajos científicos.

2. Cartografía en Bolivia

El Instituto Geográfico Militar y de Catastro Nacional publica: la Carta Nacional a 1/50.000 en formato 10′ × 15′, proyección transversa Mercator, y elipsoide internacional, y la Carta Nacional 1/250.000, en formato 1° × 1°30′, en la misma proyección y elipsoide.

3. La cartografía en Colombia

En 1935 se creó el Instituto Geográfico Militar de Colombia que en 1939 pasó a depender del Ministerio de Hacienda. En 1950 se cambió el nombre del centro por el de Instituto Geográfico "Agustín Codazzi"; actualmente este Instituto funciona descentralizado, con personalidad jurídica independiente y se regula por estatutos aprobados en 1969. Colombia dispone de: un recubrimiento fotográfico de todo el territorio; un recubrimiento de radar de la Zona Sur; una buena red geodésica de primer orden, y nivelaciones de primero y segundo orden. En 1976 estaban levantadas el 40,7 % de las hojas de la serie del 1/25.000 y publicadas el 35,5 % de las hojas del Mapa Nacional a escala 1/100.000. También publica el Instituto: el Mapa Nacional 1/200.000, mapas de suelos, turísticos, estudios geográficos, etc.

4. La cartografía en Costa Rica

El organismo responsable de la cartografía oficial en Costa Rica es el Instituto Geográfico Nacional, creado, en 1944, bajo la jurisdicción del Ministerio de Transportes. Aunque el Instituto inició sus trabajos en 1945 la actual producción de mapas data de 1952.

Se publican tres escalas principales: 1/25.000 para las zonas de gran desarrollo, de un total de 490 hojas estaban publicadas 100 hojas en 1976; el mapa 1/50.000, denominado Mapa Básico de Costa Rica, formado por 138 hojas se completó en 1969, y el 1/200.000 del que están publicadas las 9 hojas. La cartografía utilizó la proyección cónica conforme de Lambert y el elipsoide de Clarke 1866. El formato de las hojas 1/25.000 es de 5' × 7,5', y las del 1/50.000 es de 10' × 15'.

Las redes geodésicas de primero y segundo orden se finalizaron al principio de la década 1960-1970.

5. La cartografía en Cuba

El gobierno revolucionario de la República de Cuba aprobó en febrero de 1959 la Ley n.º 103 creando el Instituto Cubano de Cartografía y Catastro. El 19 de julio de 1967 aprobó la Ley n.º 1214 creando el actual Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (ICGC) asignándosele, entre otras, las siguientes misiones: realización de trabajos geodésicos y topográficos; formación de mapas topográficos de Cuba e información catastral, actualizando los datos sobre la propiedad uso y destino del suelo.

La red geodésica de primer orden, que había sido establecida en Cuba antes de 1970 por el Servicio Geodésico Interamericano, se reobservó entre 1970 y 1973 en colaboración con la Dirección General de Geodesia y Cartografía de la Unión Soviética. A partir de 1974 se comenzaron las triangulaciones de segundo y tercer orden que, con una densidad de un punto cada 50 km², se finalizarán a mediados de la década de los 80.

También a partir de 1970 se inició la renivelación de las redes de nivelación de primer orden y de la red suplementaria.

El mapa base de Cuba es el 1/10.000. Actualmente está levantado un 80 %. Todo el territorio nacional está cubierto con escalas 1/50.000, 1/100.000, 1/250.000 y 1/500.000.

La Academia de Ciencias de Cuba, en colaboración con la Academia de Ciencias de la URSS, formó y publicó el Atlas Nacional de Cuba, obra de gran valor cartográfico y del que se han hecho dos ediciones.

6. La cartografía en Chile

El Instituto Geográfico Militar es por ley la autoridad oficial, en representación del Estado, en todo lo referente a geografía, topografía y formación de mapas y cartas del país. El Instituto fue creado el 29 de agosto de 1922.

La misma función tienen asignados en sus respectivos campos, el

grama de asistencia tecnica, de acuerdo con cada uno de los países interesados, y su base y escuelas están en la zona del canal de Panamá. El IAGS mantiene una oficina auxiliar en la capital de cada uno de Estados participantes y tiene como principales misiones:

a) Establecer una red geodésica de referencia para el continente suramericano y unirla con la red geodésica de referencia norteamericana.
b) Determinar una red altimétrica de referencia para el conjunto de Iberoamérica.
c) Formar los mapas topográficos y las cartas náuticas y aeronáuticas, utilizando la fotografía aérea y las redes geodésicas y altimétrica que se establezcan.
d) Normalizar los métodos y la producción cartográfica.

El IAGS proporciona consejeros e instructores que colaboran, en la elaboración del programa internacional común, y en los programas particulares de cada nación.

1. La cartografía en Argentina

Los dos grandes centros cartográficos de Argentina son el Instituto Geográfico Militar (IGM) y el Servicio Hidrográfico de la Marina. El primero de estos dos centros tiene su origen en 1879 al crearse la Oficina Geográfica Militar. El Instituto realiza: los levantamientos geodésicos de base; levantamientos de cartografía a varias escalas; levantamientos preliminares para el trazado de fronteras, y el estudio de los límites. En 1882, el Instituto Argentino de Geografía publicó el "Atlas de la República Argentina" que contiene: veintiocho mapas que varían desde la escala 1/1.000.000 al 1/8.000.000; un plano de Buenos Aires al 1/50.000, y un mapa de América del Sur a 1/15.000.000. Este Atlas, pertenece a la fase primitiva de la cartografía argentina y es anterior a los trabajos que inició el Instituto Geográfico Militar desde su creación.

En 1906 se midió la base geodésica de Campo de Mayo, y en 1909 se comenzó la triangulación de primer orden.

Desde 1925 el IGM adoptó el elipsoide internacional en lugar del elipsoide de Bessel. Entre las realizaciones geodésicas importantes, deben destacarse: la determinación en 1927 de la diferencia de longitud entre Potsdam y Buenos Aires, y la medida de un arco de meridiano iniciado en 1938, a lo largo del meridiano de 64°.

Un acontecimiento importante para la cartografía argentina tuvo lugar en 1942-1943, cuando fue votada la "Ley relativa a los mapas y planos", destinada a organizar la ejecución sistemática y racional de los trabajos geodésicos y topográficos en todo el país. Esta ley entró en vigor en 1944.

A partir de esta fecha, los trabajos geodésicos pueden considerarse como trabajos de alta precisión útiles a la investigación científica internacional.

En 1927 se adoptó el sistema de proyección Gauss-Krüger y se introdujeron mapas "cuadrangulares".

Las escalas empleadas en la mayor parte de los trabajos son: 1/25.000, 1/50.000, y 1/100.000. La "Carta de la República Argentina" se publica a escalas: 1/50.000, 1/100.000, y 1/250.000. El 1/50.000 tiene formato de 10′ × 15′; el territorio quedará cubierto por 7065 hojas y en 1980 estaba finalizada la publicación de una tercera parte de las hojas.

El IGM es un centro cartográfico, de gran solvencia geodésica y cartográfica, muy conocido por sus publicaciones y trabajos científicos.

2. Cartografía en Bolivia

El Instituto Geográfico Militar y de Catastro Nacional publica: la Carta Nacional a 1/50.000 en formato 10′ × 15′, proyección transversa Mercator, y elipsoide internacional, y la Carta Nacional 1/250.000, en formato 1° × 1°30′, en la misma proyección y elipsoide.

3. La cartografía en Colombia

En 1935 se creó el Instituto Geográfico Militar de Colombia que en 1939 pasó a depender del Ministerio de Hacienda. En 1950 se cambió el nombre del centro por el de Instituto Geográfico "Agustín Codazzi"; actualmente este Instituto funciona descentralizado, con personalidad jurídica independiente y se regula por estatutos aprobados en 1969. Colombia dispone de: un recubrimiento fotográfico de todo el territorio; un recubrimiento de radar de la Zona Sur; una buena red geodésica de primer orden, y nivelaciones de primero y segundo orden. En 1976 estaban levantadas el 40,7 % de las hojas de la serie del 1/25.000 y publicadas el 35,5 % de las hojas del Mapa Nacional a escala 1/100.000. También publica el Instituto: el Mapa Nacional 1/200.000, mapas de suelos, turísticos, estudios geográficos, etc.

4. La cartografía en Costa Rica

El organismo responsable de la cartografía oficial en Costa Rica es el Instituto Geográfico Nacional, creado, en 1944, bajo la jurisdicción del Ministerio de Transportes. Aunque el Instituto inició sus trabajos en 1945 la actual producción de mapas data de 1952.

Se publican tres escalas principales: 1/25.000 para las zonas de gran desarrollo, de un total de 490 hojas estaban publicadas 100 hojas en 1976; el mapa 1/50.000, denominado Mapa Básico de Costa Rica, formado por 138 hojas se completó en 1969, y el 1/200.000 del que están publicadas las 9 hojas. La cartografía utilizó la proyección cónica conforme de Lambert y el elipsoide de Clarke 1866. El formato de las hojas 1/25.000 es de 5' × 7,5', y las del 1/50.000 es de 10' × 15'.

Las redes geodésicas de primero y segundo orden se finalizaron al principio de la década 1960-1970.

5. La cartografía en Cuba

El gobierno revolucionario de la República de Cuba aprobó en febrero de 1959 la Ley n.º 103 creando el Instituto Cubano de Cartografía y Catastro. El 19 de julio de 1967 aprobó la Ley n.º 1214 creando el actual Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (ICGC) asignándosele, entre otras, las siguientes misiones: realización de trabajos geodésicos y topográficos; formación de mapas topográficos de Cuba e información catastral, actualizando los datos sobre la propiedad uso y destino del suelo.

La red geodésica de primer orden, que había sido establecida en Cuba antes de 1970 por el Servicio Geodésico Interamericano, se reobservó entre 1970 y 1973 en colaboración con la Dirección General de Geodesia y Cartografía de la Unión Soviética. A partir de 1974 se comenzaron las triangulaciones de segundo y tercer orden que, con una densidad de un punto cada 50 km², se finalizaron a mediados de la década de los 80.

También a partir de 1970 se inició la renivelación de las redes de nivelación de primer orden y de la red suplementaria.

El mapa base de Cuba es el 1/10.000. Actualmente está levantado un 80 %. Todo el territorio nacional está cubierto con escalas 1/50.000, 1/100.000, 1/250.000 y 1/500.000.

La Academia de Ciencias de Cuba, en colaboración con la Academia de Ciencias de la URSS, formó y publicó el Atlas Nacional de Cuba, obra de gran valor cartográfico y del que se han hecho dos ediciones.

6. La cartografía en Chile

El Instituto Geográfico Militar es por ley la autoridad oficial, en representación del Estado, en todo lo referente a geografía, topografía y formación de mapas y cartas del país. El Instituto fue creado el 29 de agosto de 1922.

La misma función tienen asignados en sus respectivos campos, el

Instituto Hidrográfico de la Marina y el Servicio Aerofotogramétrico de las Fuerzas Aéreas. El IGM de Chile dedica un gran esfuerzo a las actividades geodésicas y publica cartografía a diferentes escalas:

- 1:25.000; editadas 100 hojas. Proyección Gauss-Krüger y elipsoide de Bessel, cada hoja comprende una zona de 10 km × 10 km. Esta serie cubrirá las zonas económicamente más importantes del país.
- 1:50.000; editadas 950 hojas de 1700. Proyección UTM y elipsoide internacional. Esta serie cubrirá las partes central y sur del país. Formato 15' × 15'.
- 1:100.000; editadas 89 hojas de 445. Proyección UTM y elipsoide internacional. Esta serie cubrirá la parte norte del país.
- 1:250.000 editadas 19 hojas de 96. Proyección UTM y elipsoide internacional. Formato 1° × 1,5°.

También existen levantamientos preliminares a 1/250.000 y 1/500.000, en proyección cónica conforme de Lambert y elipsoide internacional que cubren todo el territorio. Entre las distintas publicaciones cartográficas del IGM de Chile debe destacarse el Mapa Físico a escala 1/1.000.000 y el Atlas de Chile.

7. Cartografía en Ecuador

El centro oficial de cartografía es el Instituto Geográfico Militar. Dispone de modernas instalaciones, y publica Cartografía en proyección UTM y elipsoide internacional en las siguientes escalas: 1/50.000, que sólo cubrirá las zonas de montaña y costa; 1/100.000 que cubrirá todo el país. También se publica un mapa a 1/250.000.

8. El Salvador

El Instituto Geográfico Nacional, dependiente del Ministerio de Obras Públicas, es el organismo responsable de la cartografía

en el país. Existe una red geodésica y de nivelación y el Mapa Básico es el 1/50.000; formado en proyección cónica conforme de Lambert y elipsoide Clarke 1866. La minutas se levantaron a escala 1/20.000; el formato del Mapa es 10' × 15'; la equidistancia es de 20 m, y están publicadas, a cinco colores, las 54 hojas que cubren todo el territorio. En 1976 estaban también publicadas 2 hojas de un total de 6 que componen el mapa a escala 1/100.000 y el mapa hipsométrico a escala 1/200.000 impreso en 11 colores.

Todo el territorio está cubierto con mapas catastrales. Se utilizan las escalas 1/5.000 y 1/10.000 para las zonas rurales, y la escala 1/1.000 para las zonas urbanas. Las zonas rurales se levantan por ortofotografía.

9. La cartografía en Guatemala

El Instituto Geográfico Nacional de Guatemala es un organismo moderno y está reconocido como uno de los más avanzados de Iberoamérica. Los programas cartográficos en Guatemala datan de 1954, fecha en que se creó el Departamento de Cartografía, a partir del Departamento de Mapas y Cartografía fundado en 1945. En 1964, el Departamento de Cartografía se convirtió en el actual Instituto, con el que han colaborado activamente el Servicio Geodésico Interamericano y la Misión Técnica de la República Federal Alemana. El Instituto dispone de un personal muy bien preparado y de un equipo cartográfico de gran calidad. Guatemala ha establecido redes geodésicas de primero, segundo, tercero y cuarto orden y más de 8.000 km. de nivelación. Dispone de recubrimientos fotográficos de todo el territorio y ha publicado la siguiente cartografía:

- Mapa Topográfico de la República a escala 1/50.000 en 322 hojas. Proyección UTM, elipsoide Clarke 1866 y formato 10' × 15'.
- Mapa Básico de la República a escala 1/250.000, 16 hojas recubrimiento total. Proyección UTM, elipsoide de Clarke 1866. Formato 1° × 1.5°. Esta serie se inició en 1965.

El Instituto edita cartografía en diferentes escalas y está llevando a cabo un importante programa de catastro.

10. LA CARTOGRAFÍA EN HONDURAS

La Dirección General de Cartografía, órgano del Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas, se transformó recientemente en Instituto Geográfico Nacional y es el único centro oficial responsable del trabajo topográfico. Realizó con la cooperación del Servicio Geodésico Interamericano un importante trabajo geodésico y publica cartografía a escalas 1/50.000 y 1/250.000 en proyección UTM y elipsoide de Clarke 1866. En 1976 estaba cubierto a escala 1/50.000 el 85,5 % del territorio, y a escala 1/250.000 el 50 % del territorio. Con la cooperación de la República Federal Alemana se inició, a finales de los años 60, un programa para formar el Catastro de Honduras.

11. CARTOGRAFÍA EN MÉXICO

La cartografía moderna en México, como en otros Estados Iberoamericanos, se inicia a finales del XIX con fines militares y de límites. Después de numerosos intentos para formar un mapa que cubriese todo el territorio nacional, comienza, a partir de 1946, la colaboración con el Servicio Geodésico Interamericano.

En 1968, se creó la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL), dependiendo de la Secretaría de la Presidencia, como entidad responsable, en México, de la elaboración del inventario de los recursos naturales y socioeconómicos con que cuenta el país, representando los resultados en forma de mapas. Recientemente CETENAL se transformó en la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional (DETENAL), dependiendo de la Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática, de la Secretaría de Programación y Presupuestos. Este organismo, dispone de poderosos medios, desde aviones y helicópteros, hasta sistemas para la formación de cartografía con ayuda de ordenadores. Es actualmente el organismo Cartográfico más moderno de Iberoamérica, y uno de los más importantes

del mundo, debido a su original organización e impulso que le dio su primer director, el ingeniero D. Juan Puig.

Para cumplir su objetivo, se ha dividido el mapa de la República en 2404 zonas de 1000 km² aproximadamente, y en ellas se estudia topografía, geología, uso actual del suelo, edafología y uso potencial del suelo; de cada zona se publica el mapa topográfico a escala 1/50.000, y los mapas temáticos correspondientes.

Para iniciar sus trabajos, DETENAL completó la escasa red geodésica que cubría el país, con 166 puntos Doppler (geodesia espacial).

Actualmente está publicado, el Mapa Topográfico a escala 1/50.000 de más del 70 % de la superficie total del territorio, así como un 40 % de la cartografía temática integrada a escala 1/50.000.

DETENAL publica también cartografía topográfica y temática (Aeronáutica e Hidrológica) a 1/250.000, así como la Carta de Climas a 1/500.000 y las de Usos de Suelo, Turística y Aeronáutica a 1/1.000.000. En la "Primera Conferencia Cartográfica Regional de las Naciones Unidas para América" celebrada en Panamá en 1976, la delegación de México presentó un documento (E/CONF.67/L.66) titulado "La Unidad de América". Tomando como base la experiencia de DETENAL, México sugería la creación de un sistema único de información cartográfica, sobre los recursos del continente americano, que podría utilizarse para distintos fines como son: estudio de recursos naturales; límites y fronteras; catástrofes; catastro e infraestructura. En este proyecto proponía la unificación de diversos aspectos de la cartografía americana con la creación de tres centros: coordinación, información y estudio. La geodesia, la fotogrametría, la fotointerpretación, la teledetección y la informática serían las articulaciones fundamentales del centro de estudios.

12. LA CARTOGRAFÍA EN NICARAGUA

La formación de mapas de precisión se inició en Nicaragua en 1946, cuando se creó la Oficina de Geodesia como órgano depen-

diente del Ministerio de Desarrollo y Obras Públicas. La Oficina se convirtió en Dirección General de Cartografía en 1960. En 1954, las Fuerzas Aéreas de los EE.UU. cubrieron la zona del Pacífico con fotografía a escala 1/64.000, y se publicó la primera hoja del Mapa de la República a escala 1/50.000 en 1906. Las misiones principales de la Dirección General son: colaborar con el Servicio Geodésico Interamericano en el campo de la geodesia, y preparar los mapas de base a escalas 1/50.000, 1/100.000 y 1/250.000. El Mapa Base, a escala 1/50.000, cubre actualmente todo el territorio nacional. La proyección utilizada es la UTM y el elipsoide el de Clarke 1880. El formato de las hojas es de 10' × 15'.

A escala 1/25.000 sólo se publican zonas densamente cultivadas o áreas especiales. El mapa 1/250.000 se formó por reducción del 1/50.000 y está publicado en su totalidad.

El Gobierno de la República Federal Alemana firmó un acuerdo específico con el de Nicaragua, como parte del programa regional de América Central, con el fin de dar asistencia técnica, en equipo y personal, destinada a la formación de cartografía a gran escala y preparación de los futuros levantamientos catastrales. En 1976 estaba formado el *ortofotomapa* a escala 1/10.000 del 25 % del territorio.

13. Cartografía en Panamá

Las actividades cartográficas en Panamá pasaron, desde la conquista hasta nuestros días, por diversas etapas llegando en la actualidad a un grado elevado de desarrollo y variedad.

El Instituto Geográfico Nacional "Tommy Guardia" se creó en 1969, como sucesor de la Sección de Cartografía de la Carretera Iberoamericana, elevada en 1954 al rango de Dirección de Cartografía y en 1967 designada como Instituto Cartográfico "Tommy Guadia".

El Instituto Geográfico se responsabiliza de los trabajos de geodesia, cartografía, topografía, catastro e hidrografía. Su principal actividad, la cartografía, se beneficia de la cooperación con el Servicio

Geodésico Interamericano. Publica mapas a distintas escalas: 1/50.000 en proyección transversa Mercator, elipsoide internacional y formato de 10' × 15', está cubierto a esta escala el 70 % del territorio nacional; 1/250.000, en la misma proyección y elipsoide, formato 1° × 1°30', esta escala está completa. También publica el Instituto: mapas catastrales a 1/10.000; fotoplanos y 1/5.000 de las principales ciudades; cartas náuticas y aeronáuticas así como el Atlas de Panamá. Existe un vuelo fotogramétrico que cubre el 80 % del país y redes bien ajustadas, de triangulación y nivelación.

14. Paraguay

El Instituto Geográfico Militar, dependiente del Ministerio de Defensa, es responsable de la cartografía del país. En 1976, estaban levantadas 60 hojas de las 270 que cubren el territorio, a escala 1/50.000, y 29 hojas de las 68 que forman la escala 1/100.000.

15. La cartografía en Perú

El trabajo cartográfico en Perú es llevado a cabo por tres agencias del Gobierno:

- El Instituto Geográfico Militar; para el contrato geodésico y el Mapa Nacional.
- El Servicio Aéreo Nacional; cuya misión es realizar las misiones fotográficas y la preparación de mapas topográficos para proyectos específicos.
- El Servicio Hidrográfico y de Faros; cuya misión es mantener los faros y formar las cartas náuticas.

Estos servicios disponen de muy buen material y personal entrenado en trabajos cartográficos.

En Perú se publica cartografía a escalas: 1/50.000, 1/100.000, 1/200.000 y 1/250.000. De la serie a 1/100.000, en proyección

UTM y elipsoide internacional, se había publicado en 1976 el 37 %; del 1/200.000 el 34 %; del 1/250.000 el 22 % y del 1/50.000 el 10 %.

16. La cartografía en Venezuela

Alejandro Humboldt fue la figura con la que se puede iniciar la historia del conocimiento geográfico de Venezuela. Como geodesta, Humboldt lleva a cabo una campaña de posiciones astronómicas, mide una base en Araya y, por medio de triangulación, obtuvo la posición de numerosos puntos de la costa oriental de Venezuela. También preparó un mapa del territorio del Amazonas y llevó a cabo numerosas nivelaciones barométricas.

Otro cartógrafo importante en el siglo XIX fue el italiano Agustin Codazzi que desplegó una gran actividad tanto en Colombia como en Venezuela. En 1839 Codazzi había formado un Atlas de las Provincias donde se incluían "información geográfica, física y estadística". Este Atlas se imprimió en Perú en 1840.

En 1904 se creó, por decreto, la Comisión del Plano Militar, con la misión de preparar un mapa general del país a escala 1/1.000.000 y mapas de ciertas zonas de interés a 1/250.000, así como mapas militares a 1/25.000. Para llevar a cabo esta labor se organizó la "Oficina del Plano Militar" y se crearon Comisiones Astronómicas y Topográficas. La Oficina del Plano Militar funcionó hasta 1908. En 1909 se creó la Oficina del Mapa Físico y Político de los Estados Unidos de Venezuela, y el 10 de julio de 1916 se crea la oficina de Cartografía Nacional, en la Escuela de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, que publicó un Atlas de Venezuela, donde se incluían mapas a diferentes escalas de los distintos Estados de la República.

En 1935, se creó en el Ministerio de Obras Públicas el Servicio Aerofotográfico, que se fusionó en 1937 con la Oficina de Cartografía Nacional. Se levantaron numerosos mapas y planos; destaca por su perfección el plano de La Guaira que se imprimió en colores.

En 1946 la Oficina de Cartografía Nacional aceptó la asesoría técnica del Servicio Geodésico Interamericano, con el fin de organizar y potenciar los trabajos geodésicos y cartográficos del país. Hoy día la Dirección de Cartografía Nacional es un organismo bien dotado de medios que está llevando a cabo una gran labor cartográfica y utiliza las más modernas técnicas.

La red geodésica de primer orden cubre un 70 % del territorio nacional y se completa con una poligonación geodésica que cubre 110.000 km². En la región sur del país se estableció un control geodésico de puntos Doppler (geodesia espacial). La red de nivelación alcanza más de 30.000 km.

El mapa básico del país se levanta por fotogrametría a escala 1/25.000, en proyección UTM y elipsoide internacional; también se publica cartografía a escalas 1/100.000 y 1/250.000. Del mapa 1/100.000, se habían hecho 233 hojas, en 1976, de un total de 542, y desde 1967, la parte al sur del paralelo de 6°, se cubrió con una nueva serie de las que estaban levantadas, en 1976, 120 hojas en proyección cónica secante y formato de 30' × 40'. Del mapa 1/250.000 estaban publicadas, en 1976, 8 hojas.

La actividad cartográfica actual en Venezuela es muy grande, sobre todo en el campo de la cartografía temática y aeronáutica. En 1981 se creó un Centro Nacional de Percepción Remota para utilizar la información que proporciona la teledetección, en la formación de mapas de los recursos naturales del país.

Después de esta breve descripción de la actividad cartográfica en varios países de Hispanoamérica, se desprende el gran esfuerzo que es necesario hacer para dotar a todo el continente de la cartografía moderna necesaria para el conocimiento de su realidad geográfica y socio-económica. La Comisión de Cartografía del Instituto Panamericano de Geografía e Historia, el Servicio Geodésico Interamericano, y las Conferencias Cartográficas Regionales organizadas por las Naciones Unidas, están contribuyendo a mejorar las técnicas cartográficas incrementando la cooperación de todos los países en la producción de mapas, tan necesarios para conseguir un grado de desarrollo acorde con los inmensos recursos naturales de la Región.